ORTAÖĞRETİM

FİZİK 11

DERS KİTABI

Yazarlar

Aslı Gülsüm DÖYEN
Aynur ÇETİNOL
Ertan ERBEK
Mehmet TURAN
Nermin Esra ALAGÖZ
Ufuk ÖZÜBEK

DEVLET KİTAPLARI

.........................., 2021

MİLLİ EĞİTİM BAKANLIĞI YAYINLARI ....: 6973
DERS KİTAPLARI DİZİSİ ....: 1828

Hazırlayanlar

Editör
Prof. Dr. Orhan BAYRAK

Dil Uzmanları
Hikmet GÜNDÜZ
Sevda TAŞPINAR

Program Geliştirme Uzmanı
İlknur İZGİ İPEKEL

Ölçme ve Değerlendirme Uzmanı
Uğur ALTUN

Rehberlik Uzmanı
Onur TEKŞEN

Görsel Tasarım Uzmanları
Hakan BAĞKARAN
Hüseyin GÖKALP
Osman KARAASLAN
Seval AKSEL
Seval ZENGİN

ISBN 978-975-11-4911-4

Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulunun 18.04.2019 gün ve 8 sayılı kararı ile ders kitabı olarak kabul edilmiştir.



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

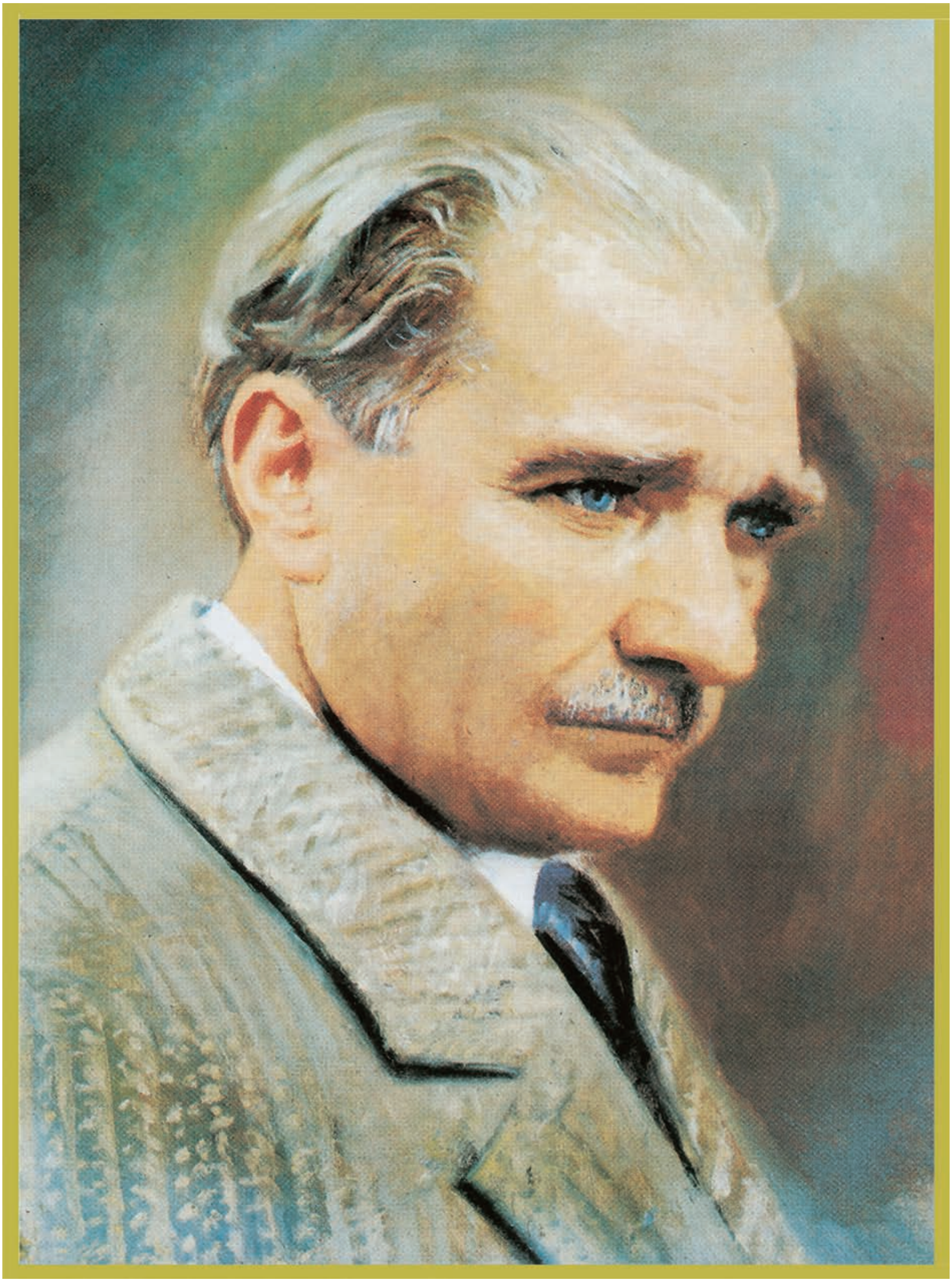
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

KİTABIN TANITIMI

Ünite numarası ve adını gösterir.

Ünite bölümlerini gösterir.



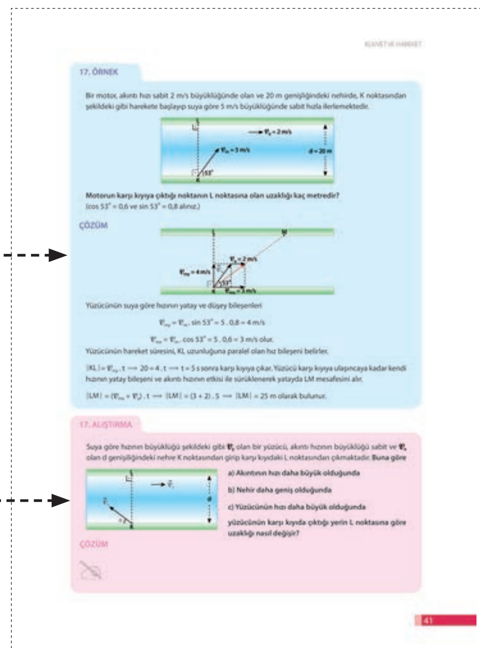
Etkileşimli kitap, video, ses, animasyon, uygulama, oyun, soru vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekodu gösterir. Daha fazlası için http://ogmmateryal.eba.gov.tr adresini ziyaret edebilirsiniz.

Ünitenin içinde geçen anahtar kavramlar verilmiştir.

Bölüm numarası ve adını gösterir.

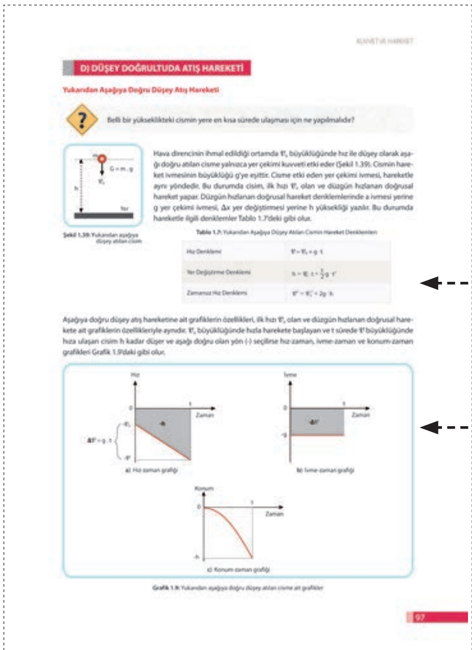
Konunun daha iyi kavranması için çözümlü soru örnekleri verilmiştir.





Konunun pekiştirilmesi amacıyla alıştırmalar verilmiştir.

Öğrenmeyi desteklemek için konu ile ilgili tablolar verilmiştir.



Ünite kazanımları grafiklerle desteklenmiştir.



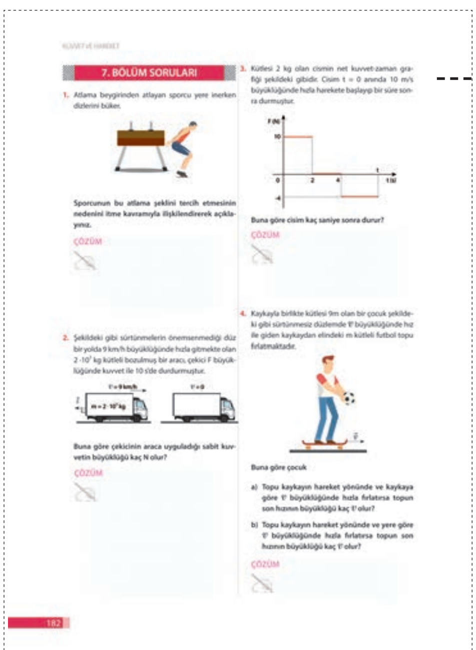
Konuların günlük hayatla ilişkilendirilmesi ve daha iyi anlaşılabilmesi için okuma parçaları verilmiştir.

Kazanımların daha iyi öğrenilebilmesi için her bölümün sonunda farklı tekniklere göre hazırlanmış sorular bulunmaktadır.

Konunun pekiştirilmesi amacıyla araştırma konusu verilmiştir.

ARAŞTIRMA KONUSU

Manyetik kuvvetin teknolojide kullanım alanları hakkında araştırma yaparak araştırma sonuçlarınızı arkadaşlarınızla paylaşınız.



Konu ile ilgili bilgi notu verilmiştir.

Bilgi Notu

Eşit çizgisel momentumlarla tek boyutta (merkezi) esnek çarpışma yapan cisimler, çarpışmadan sonra kendi hızlarının büyüklüğünde hızlarla geri döner.

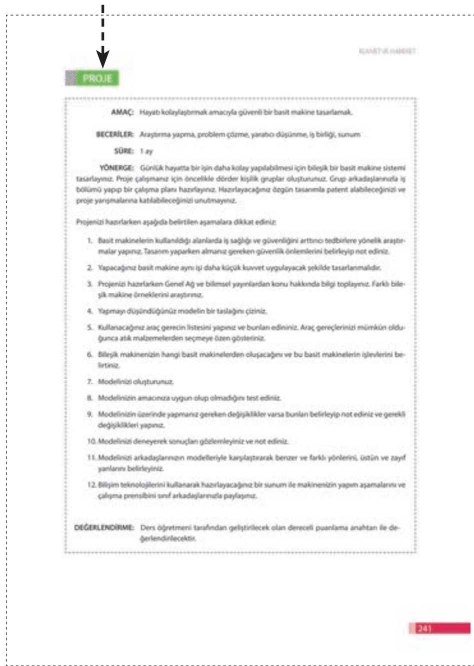
Konu ile ilgili uyarıcı nitelikte bilgiler verilmiştir.

Aynı ağırlığı taşıyan ipler arasındaki açı değeri arttırılırsa iplerdeki gerilmeler de artar.

Görsel 1.12'deki gibi trambolin üzerinde zıplayan çocuğun enerji dönüşümü ne şekildedir?

Konu ile ilgili dikkat çekici sorular sorulmuştur.

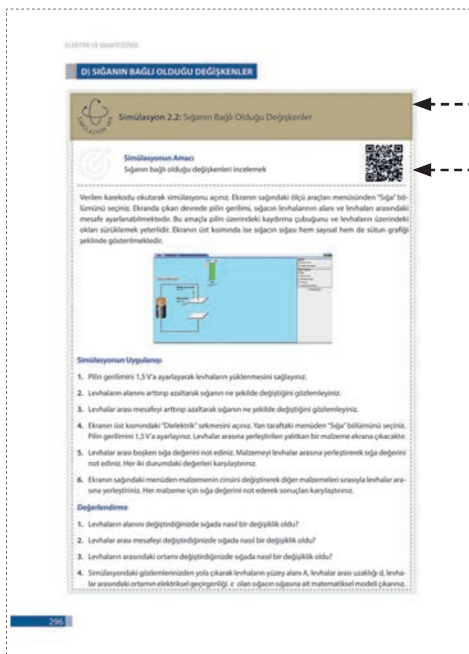
Konu ile ilgili projeler verilmiştir.



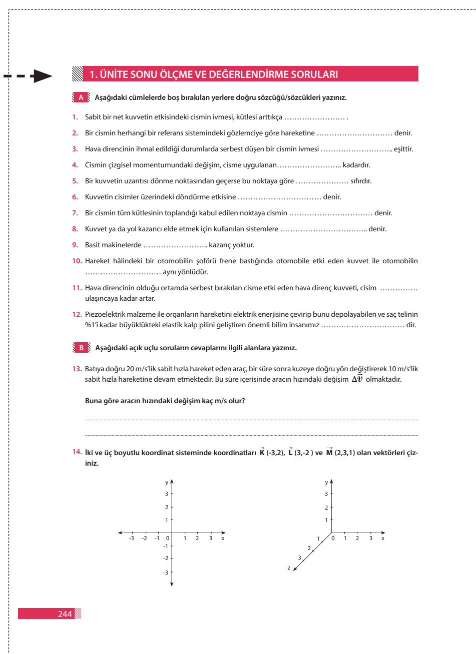
Öğrenilen konu ile ilgili bireysel ya da grup olarak yapılabilecek etkinlikler verilmiştir.



Öğrenilen konu ile ilgili simülasyonlar verilmiştir.



Ünite sonu ölçme ve değerlendirme soruları verilmiştir.



Karekod okuyucu ile taratarak konu ile ilgili simülasyona ulaşabileceğiniz karekod verilmiştir.

GÜVENLİK İŞARETLERİ



ELEKTRİK GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, yapılacak işlemlerde elektriği şehir hattından kullanmak gerektiğini; güç kaynağı kullanırken iletken kısımlara dokunmanın tehlikeli olacağını belirtir.



KIRILABİLİR CAM GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, cam malzemelerin kırılabileceğini gösterir. Cam malzemelerin aşırı ısıtılmaması ve ani sıcaklık değişimlerine maruz kalmaması sağlanmalıdır.



SICAK CİSİM GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, yapılacak işlemde bir ısıtıcı ya da sıcak bir yüzeyin olduğunu gösterir. El, ayak ve diğer organların yanmaması için özen gösterilmelidir.



GÖZ GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, deneye başlamadan önce gözlük takmak gerektiğini belirtir. Gözlüksüz çalışılırsa göz sağlığı için zarar vericidir.



KESİCİ/DELİCİ CİSİM GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, yapılacak işlemlerde kesici/delici gereçlerin kullanıldığını ve işlemler sırasında yaralanmalara yol açabileceğini belirtir.



PATLAYICI

Kıvılcım, ısınma, alev, vurma, çarpma ve sürtünmeye maruz kaldığında patlayabilir. Ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulmalıdır.



OKSİTLEYİCİ, YAKICI MADDE

Havasız ortamda bile yanabilirler. Yanabilen maddelerle karıştırılırsa patlayabilir. Tutuşturucularla teması önlenmelidir.



ISI GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, yapılacak işlemde çok sıcak bir yüzeyin veya ısıtıcının olduğunu gösterir. El, ayak ve diğer organların yanmaması için ısıya dayanıklı eldiven kullanılmalıdır.



ELBİSE GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, laboratuvar deneylerinde kullanılan malzemelerin elbiselere sıçrayarak aşındırıcı etkisinden korunmak için önlük veya tulum kullanılmasının uygun olacağını gösterir.



TOKSİK (ZEHİRLİ)

Ağız, deri ve solunum yolu ile zehirlenmelere neden olur. Kanserojen etki yapabilir. Vücut ile temas ettirilmemelidir. Zehirlenme belirtileri görüldüğünde tıbbi yardım alınmalıdır.



YANGIN GÜVENLİĞİ

Bu güvenlik işareti, yapılacak işelmlerde yangın çıkmaması için gerekli önlemlerin alınması gerektiğini ifade eder.



RADYOAKTİF

Radyasyona neden olur. Canlı dokularına kalıcı hasar veren kanserojen etki yapar. Bu işaretin bulunduğu yerlerden uzak durulmalıdır.



TAHRİŞ EDİCİ

Alerjik deri reaksiyonlarına neden olur. Ozon tabakasına zarar verebilir. Vücuda ve göze temasından kaçınılmalıdır. Koruyucu giysi giyilmelidir.



KOROZİF (AŞINDIRICI)

Metalleri ve canlı dokuları aşındırabilen maddelerdir. Bu maddeler deriye ve göze hasar verirler. Göz ve deriyi korumak için önlemler alınmalıdır.

FİZİK
11

1. ÜNİTE
KUVVET VE HAREKET

1.1. VEKTÖRLER

1.2. BAĞIL HAREKET

1.3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

1.4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

1.5. İKİ BOYUTTA HAREKET

1.6. ENERJİ VE HAREKET

1.7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

1.8. TORK

1.9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI

1.10. BASİT MAKİNELER



ANAHTAR KAVRAMLAR

Vektör | Bağıl Hareket | İvmeli Hareket | Serbest Düşme | Limit Hız | Düşey Atış | Yatay Atış | Eğik Atış | Enerji | Hooke Yasası | İtme | Çizgisel Momentum | Çizgisel Momentumun Korunumu | Tork | Denge | Ağırlık Merkezi | Kütle Merkezi

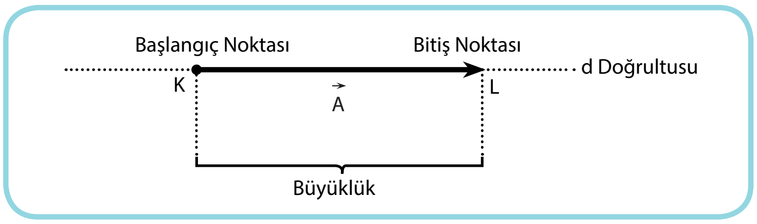
1.1. VEKTÖRLER

A) VEKTÖRLER VE ÖZELLİKLERİ

Fizik, ölçmeye dayalı temel bir bilim dalıdır. Bir olayın incelenebilmesi ve fiziksel büyüklüklerin hesaplanabilmesi için ölçümler yapılır. Ölçüm sonuçları, sayılar ve birimlerle ifade edilir. Örneğin pazardan 5 kg elma aldığını söyleyen bir kişi, aldığı elma miktarını ifade etmektedir. Benzer şekilde, laboratuvar masasının 2 m olduğunu söyleyen bir öğrenci de masanın uzunluğu ile ilgili yeterli bilgiyi vermektedir. Örneklerde verilen kütle ve uzunluk gibi temel büyüklükler, yön belirtilmeden sadece sayı ve birimler verilerek anlatılabilir. Sadece sayılar ve birimlerle ifade edilebilen bu büyüklüklere **skaler büyüklük** denir.

Hız, kuvvet ve yer değiştirme gibi büyüklükler sadece sayı ve birimlerle tam olarak ifade edilemez. Örneğin bir cismin 10 m yer değiştirdiğini söylemek cismin hareketini tam olarak açıklamaz. Bu ifadede hareketlinin hangi yönde yer değiştirdiği belli değildir, sayı ve birimin yanı sıra yönü de belirtilmelidir. Dolayısıyla hareketlinin kuzeye doğru 10 m yer değiştirdiğini söylemek daha doğru bir anlatımdır. Sayı ve birimlerin yanı sıra doğrultu ve yön bilgisini de içeren büyüklüklere **vektörel büyüklük** denir.

Vektörel büyüklüklerin gösteriminde yönlendirilmiş doğru parçaları kullanılır. Bu büyüklükleri incelemek ve işlem yapabilmek için vektörlerin özelliklerini ve vektörel işlemlerin nasıl yapıldığını bilmek gerekir.



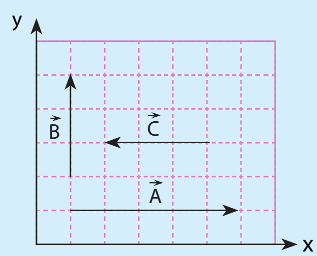
Şekil 1.1: Bir vektörün gösterimi ve özellikleri

Her vektörün bir başlangıç noktası, bitiş noktası, büyüklüğü, doğrultusu ve yönü vardır. Vektörler harflerle isimlendirilir ve harfin üzerine ok işareti konarak $\vec{A}$ şeklinde gösterilir. Büyüklüğü ise vektörün boyu ile orantılıdır. Büyüklüğü $|\vec{A}|$ veya A ile gösterilir. Bu kitapta vektörün büyüklüğü A ile gösterilecektir. K noktası $\vec{A}$ vektörünün başlangıç noktasını, L noktası bitiş noktasını, ok işareti yönünü ve d ise doğrultusunu göstermektedir (Şekil 1.1).

1. ÖRNEK

$\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörleri birimkarelerden oluşmuş düşey düzlem üzerindedir.

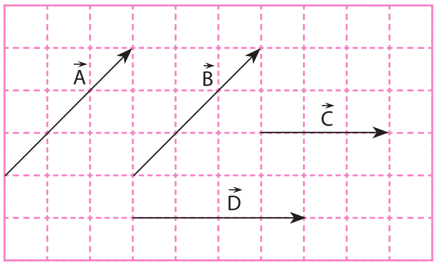
Buna göre aşağıda verilen tabloyu doldurunuz.



ÇÖZÜM

	Yönü	Doğrultusu	Büyüklüğü
$\vec{A}$	+x yönünde	Yatay	5 birim
$\vec{B}$	+y yönünde	Düşey	3 birim
$\vec{C}$	-x yönünde	Yatay	3 birim

İki Vektörün Eşitliği



Şekil 1.2: Eşit olan ve olmayan vektörler

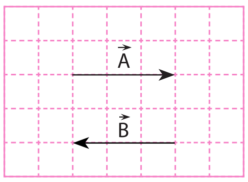
İki vektörün eşit olabilmesi için yönlerinin ve büyüklüklerinin aynı olması gerekir. Şekil 1.2'de gösterilen eşit kare bölmelere ayrılmış aynı düzlem üzerinde bulunan $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörlerinden $\vec{A}$ vektörü ile $\vec{B}$ vektörünün yönleri ve büyüklükleri aynıdır. Bu durumda $\vec{A}$ vektörü ile $\vec{B}$ vektörü eşit vektörlerdir. Bu eşitlik

$\vec{A} = \vec{B}$ şeklinde yazılır.

$\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörlerinin yönleri aynı olmasına rağmen büyüklükleri farklıdır. $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörleri eşit değildir. Bu durum

$\vec{C} \neq \vec{D}$ şeklinde yazılır.

Vektörün Negatifi (Tersi)

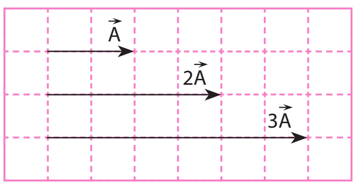


Şekil 1.3: Ters vektörler

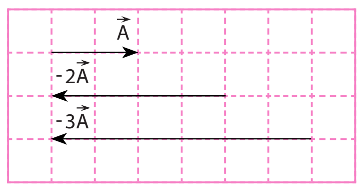
Vektörün negatifi, vektöre eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür. Şekil 1.3'te gösterilen ve aynı düzlemde bulunan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin büyüklükleri aynı, yönleri zıttır. O hâlde $\vec{A}$ vektörü ile $\vec{B}$ vektörü birbirinin tersidir. Bu eşitlik

$\vec{A} = -\vec{B}$ veya $\vec{B} = -\vec{A}$ şeklinde yazılır.

Vektörün Bir Skaler ile Çarpımı



a) Vektörün pozitif bir sayı ile çarpımı



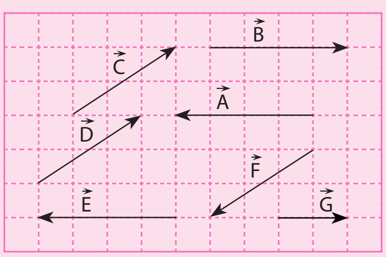
b) Vektörün negatif bir sayı ile çarpımı

Şekil 1.4: Vektörün bir sayı ile çarpımı

Pozitif sayıyla çarpılan vektörün büyüklüğü değişebilir, yönü ve doğrultusu değişmez. Şekil 1.4.a'daki $\vec{A}$ vektörü 2 ile çarpıldığında bu vektörün boyu iki katına çıkar ve $2\vec{A}$ vektörü oluşur. 3 ile çarpıldığında ise üç katına çıkar ve $3\vec{A}$ vektörü oluşur.

Negatif sayıyla çarpılan vektörün yönü 180° değişir ve vektör ters döner. Vektörün doğrultusu değişmez ancak büyüklüğü değişebilir. Şekil 1.4.b'deki $\vec{A}$ vektörü -2 ile çarpıldığında bu vektörün boyu iki katına çıkar ve $-2\vec{A}$ vektörü oluşur. -3 ile çarpıldığında ise üç katına çıkar ve $-3\vec{A}$ vektörü oluşur.

1. ALIŞTIRMA



Eşit bölmelendirilmiş düzlemde $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}, \vec{D}, \vec{E}, \vec{F}$ ve $\vec{G}$ vektörleri verilmiştir. Tabloda vektörlerle ilgili verilen ifadeleri inceleyiniz.

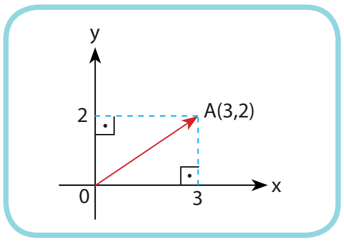
Yanlış olan ifadeleri bulup düzeltiniz.

$\vec{A} = -\vec{B}$		$A = E$		$\vec{B} = \vec{E}$	
$\vec{C} = \vec{D}$		$D = F$		$\vec{A} = 2\vec{G}$	
$\vec{C} = \vec{F}$		$\vec{B} = -2\vec{G}$		$\vec{G} = -\frac{1}{2}\vec{E}$	

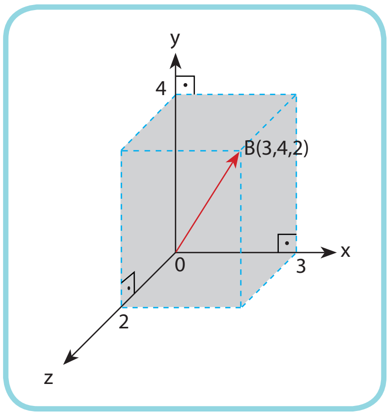
B) İKİ VE ÜÇ BOYUTLU KARTEZYEN KOORDİNAT SİSTEMİNDE VEKTÖR ÇİZİMİ

İki boyutlu (x, y) kartezyen koordinat sisteminde vektör çizilirken vektörün başlangıç noktası orijin olarak kabul edilir. Vektörün bitiş noktası ise koordinatlarla belirtilen noktadır. Başlangıç noktası ile bitiş noktası birleştirilerek vektörün çizimi tamamlanır. Vektörün yönü de başlangıç noktasından bitiş noktasına doğrudur.

Koordinatları A(3,2) olarak verilen $\vec{A}$ vektörünün x eksenindeki koordinatı 3, y eksenindeki koordinatı 2'dir. Bu noktalardan eksenlere paralel doğrular çizilir ve doğruların kesiştiği nokta belirlenir. Kesişim noktası vektörün bitiş noktasıdır. Orijin ile bitiş noktası birleştirildiğinde $\vec{A}$ vektörü çizilmiş olur (Şekil 1.5).



Şekil 1.5: İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde vektör



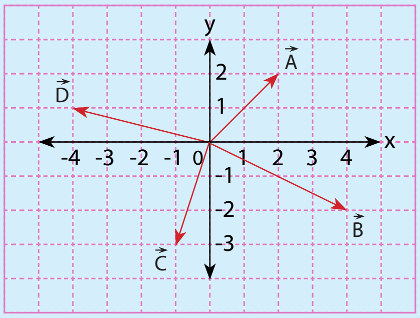
Şekil 1.6: Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde vektör

Üç boyutlu (x,y,z) kartezyen koordinat sisteminde vektör çizilirken vektörün başlangıç noktası orijin olarak kabul edilir. Vektörün bitiş noktası ise verilen koordinat noktası kullanılarak belirlenir. Başlangıç noktası ile bitiş noktası birleştirilerek vektör çizimi tamamlanır.

Koordinatları B(3,4,2) olarak verilen $\vec{B}$ vektörünün çizilebilmesi için x, y ve z eksenleri üzerinde kenar uzunlukları 3, 4 ve 2 birim olan dikdörtgenler prizması çizilir. Prizmanın orijininden çizilen cisim köşegeni $\vec{B}$ vektörünü oluşturur (Şekil 1.6).

2. ÖRNEK

$\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörleri şekildeki koordinat sisteminde gösterilmiştir.



Verilen vektörlerin koordinatlarını yazınız.

ÇÖZÜM

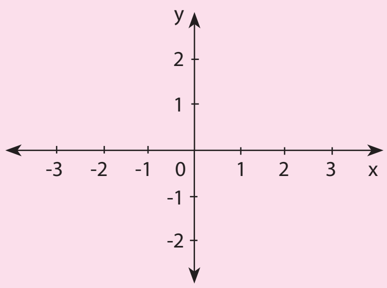
Vektörlerin uçlarından eksenlere dik doğrular çizilerek doğruların eksenleri kestiği noktalar belirlenir. Bu noktalar, vektörlerin koordinatlarıdır. A vektörünün ucundan eksenlere çizilen dikmeler x eksenini 2, y eksenini 2 noktasından keser. A vektörünün koordinatları A(2,2) olarak ifade edilir. Benzer şekilde diğer vektörlerin koordinatları B(4,-2), C(-1,-3) ve D(-4,1) şeklinde bulunur.

2. ALIŞTIRMA

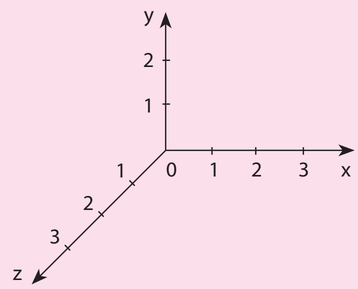
a) Koordinatları A(1,2), B(-2,1) ve C(-1,-2) olan $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerini Şekil I'deki kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.

b) Koordinatları D(3,2,2) olan $\vec{D}$ vektörünü Şekil II'deki kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.

ÇÖZÜM



Şekil I



Şekil II

C) VEKTÖRLERİN BİLEŞKESİ


a) 10 kg kütleli elma kasaları

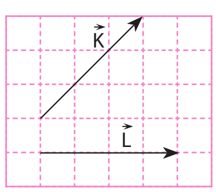


b) Elma kasasına etki eden kuvvetler

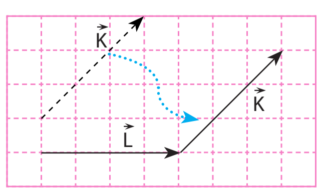
Görsel 1.1: Skaler ve vektörel toplama örnekleri

Skaler büyüklükler toplanırken cebirsel toplama işlemi yapılır. Örneğin her birinde 10 kg elma bulunan iki kasadaki toplam elma kütlesi 20 kg'dır (Görsel 1.1.a). Elma kasalarından birine, birbirine zıt yönlü 15 N ve 25 N büyüklüğündeki iki kuvvet uygulandığında (Görsel 1.1.b) kasaya etki eden toplam kuvveti bulmak için vektörel işlem yapılır. Kasaya etkiyen net kuvvet 10 N büyüklüğünde ve büyük olan kuvvet yönündedir. Birden çok vektörün toplanmasıyla elde edilen vektöre **bileşke vektör** denir. Bileşke vektör $\vec{\mathbf{R}}$ sembolü ile gösterilir ve farklı yöntemler kullanılarak bulunabilir.

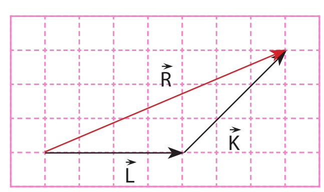
Uç Uca Ekleme Yöntemi



a) $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörleri



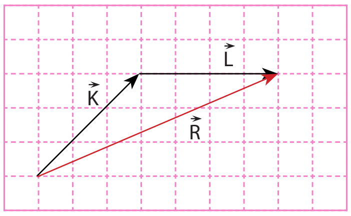
b) $\vec{K}$ vektörünün taşınması



c) $\vec{R}$ bileşke vektör

Şekil 1.7: İki vektörün uç uca eklenmesi

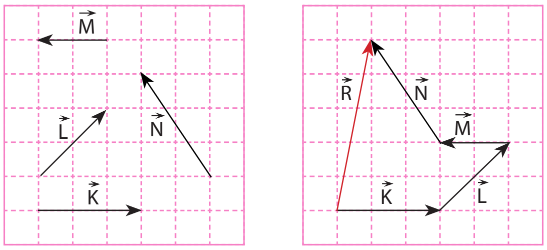
$\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörlerinin bileşkesi bulunurken $\vec{K}$ vektörü, yönü ve doğrultusu değiştirilmeden $\vec{L}$ vektörünün ucuna taşınır (Şekil 1.7.a, b). $\vec{L}$ vektörünün başlangıç noktasından $\vec{K}$ vektörünün bitiş noktasına doğru çizilen vektör, bileşke vektördür (Şekil 1.7.c). Çizilen vektörün uzunluğu hesaplanarak bileşke vektörün büyüklüğü bulunur.



Şekil 1.8: $\vec{L}$ **v**ektörünün taşınması

Vektörlerin bileşkesi bulunurken toplama işleminin değişme özelliğinden yararlanılabilir (Şekil 1.8). Aynı işlemler, $\vec{L}$ vektörü $\vec{K}$ vektörünün ucuna taşınarak da yapılabilir. Vektörel toplama işlemi

$\vec{R} = \vec{K} + \vec{L}$ veya $\vec{R} = \vec{L} + \vec{K}$ şeklinde gösterilir.



a) $\vec{K}$, $\vec{L}$, $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörleri

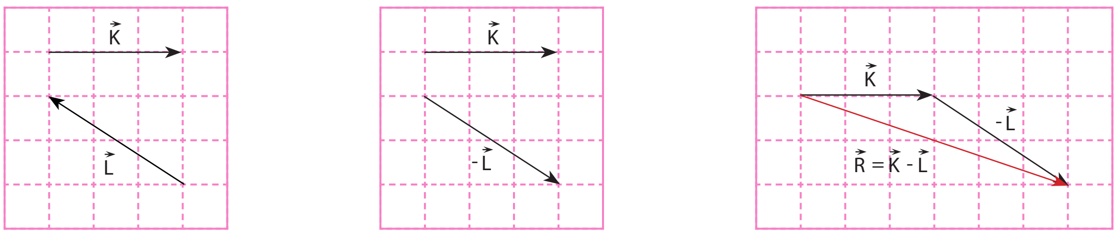
b) $\vec{L}$, $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörlerinin taşınması

Şekil 1.9: İkiden fazla vektörün uç uca eklenmesi

İkiden fazla vektörün bileşkesi bulunurken bütün vektörlerin uç uca eklenmesi bitene kadar işleme devam edilir. İlk vektörün başlangıç noktası ile son vektörün bitiş noktası birleştirilerek bileşke vektör bulunur (Şekil 1.9).

$\vec{R} = \vec{K} + \vec{L} + \vec{M} + \vec{N}$ olur.

Vektörlerde Çıkarma İşlemi



a) $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörleri

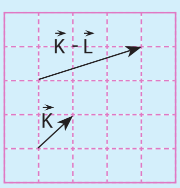
b) $\vec{L}$ vektörünün ters çevrilmesi

c) Bileşke vektörün bulunuşu

Şekil 1.10: Vektörlerde çıkarma işlemi

İki vektörün farkı alınırken toplama işleminin özellikleri kullanılabilir. Şekil 1.10.a'daki $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörlerinin farkı olan $\vec{R} = \vec{K} - \vec{L}$ vektörü, $\vec{R} = \vec{K} + (-\vec{L})$ şeklinde de yazılabilir. $\vec{K}$ vektöründen $\vec{L}$ vektörünü çıkarma işlemiyle $\vec{K}$ vektörü ile $-\vec{L}$ vektörünü toplama işlemi aynıdır. $-\vec{L}$ vektörü ise $\vec{L}$ vektörünün -1 ile çarpılmış hâlidir. $\vec{L}$ vektörünün büyüklüğü değiştirilmeden yönü ters çevrilerek $-\vec{L}$ vektörü bulunur (Şekil 1.10.b). Ardından $-\vec{L}$ vektörü, $\vec{K}$ vektörü ile toplanarak $\vec{K} - \vec{L}$ vektörü elde edilir (Şekil 1.10.c).

3. ÖRNEK



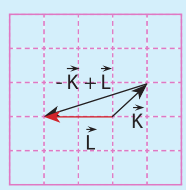
Aynı düzlemde bulunan $\vec{K}$ ve $\vec{K} - \vec{L}$ vektörleri şekildeki gibidir.

Buna göre $\vec{L}$ vektörünü bulunuz.

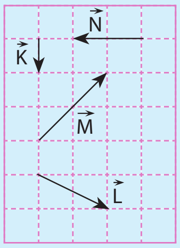
ÇÖZÜM

$\vec{K} - \vec{L}$ vektörü ters çevrilirse $-\vec{K} + \vec{L}$ vektörü elde edilir. Elde edilen bu vektör $\vec{K}$ ile toplanarak

$-\vec{K} + \vec{L} + \vec{K} = \vec{L}$ elde edilir.



4. ÖRNEK



Eşit kare bölmelere ayrılmış aynı düzlemde bulunan $\vec{K}$, $\vec{L}$, $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörlerinden $\vec{K}$ vektörünün büyüklüğü 1 birimdir.

Buna göre

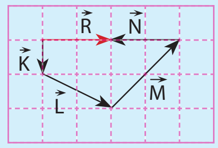
a) $\vec{R} = \vec{K} + \vec{L} + \vec{M} + \vec{N}$ **ise** $\vec{R}$ **vektörünün yönü ve büyüklüğü nedir?**

b) $\vec{R} = 2\vec{K} - 2\vec{L} + \frac{1}{2}\vec{M} - \frac{3}{2}\vec{N}$ **ise** $\vec{R}$ **vektörünün yönü ve büyüklüğü nedir?**

c) $\vec{R} = \vec{L} - \vec{K} + \vec{N}$ **ise** $\vec{R}$ **vektörünün yönü ve büyüklüğü nedir?**

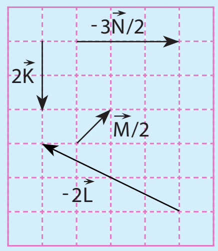
ÇÖZÜM

a) Vektörler, Şekil I'deki gibi yönleri ve doğrultuları değiştirilmeden taşınıp uç uca eklenir. $\vec{K}$ vektörünün başlangıcı ile $\vec{N}$ vektörünün bitiş noktası birleştirildiğinde bileşke vektör $\vec{R}$ bulunur. $\vec{R}$ vektörünün büyüklüğü 2 birim olup +x yönündedir.

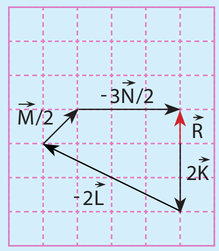


Şekil I

b) Verilen vektörler sayılarla çarpıldığı için bu vektörlerden bazılarının büyüklüğü, bazılarının da hem büyüklüğü hem de yönü değişmiştir. Önce Şekil II'deki gibi $2\vec{K}$, $-2\vec{L}$, $\frac{1}{2}\vec{M}$ ve $-\frac{3}{2}\vec{N}$ vektörleri bulunur. Ardından Şekil III'teki gibi çizilen vektörler uç uca eklenerek $\vec{R}$ vektörü oluşturulur. $\vec{R}$ vektörü +y yönünde ve 1 birim büyüklüğündedir.

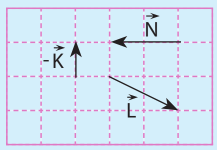


Şekil II

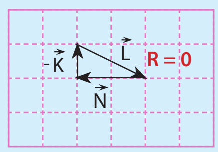


Şekil III

c) Şekil IV'teki gibi $\vec{K}$ vektörü ters çevrilerek $\vec{L}$ ve $\vec{N}$ vektörleriyle uç uca eklenir. Şekil V'teki gibi uç uca ekleme işlemi yapıldığında aynı noktaya geri dönülmüştür. Bu nedenle $\vec{R}$ vektörü sıfır olur.

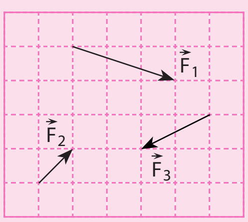


Şekil IV



Şekil V

3. ALIŞTIRMA

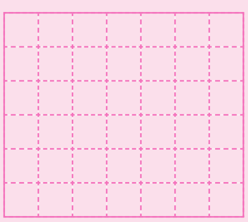


Eşit kare bölmelere ayrılmış aynı düzlemde bulunan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekilde verilmiştir.

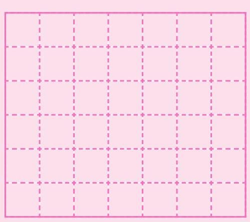
Aşağıda verilen kare bölmelere $\vec{R}_1$, $\vec{R}_2$ ve $\vec{R}_3$ kuvvetlerini çiziniz.

ÇÖZÜM

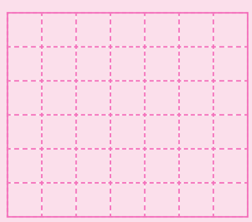
$\vec{R}_1 = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$



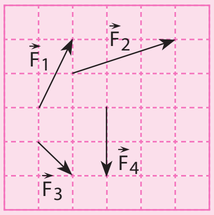
$\vec{R}_2 = \vec{F}_1 - \vec{F}_3$



$\vec{R}_3 = \vec{F}_2 - \vec{F}_3$



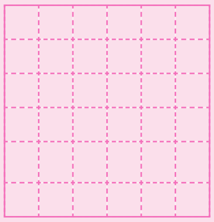
4. ALIŞTIRMA



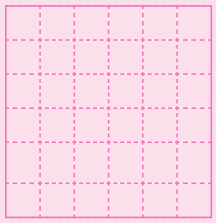
Eşit kare bölmelere ayrılmış aynı düzlemde bulunan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetleri şekilde verilmiştir.

Uç uca ekleme yöntemini kullanarak $\vec{R}_1$, $\vec{R}_2$, $\vec{R}_3$, $\vec{R}_4$ ve $\vec{R}_5$ vektörlerini verilen bölmelere çiziniz.

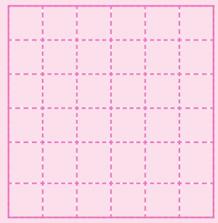
ÇÖZÜM



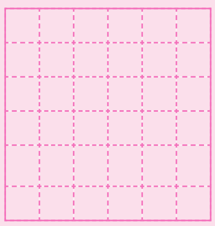
$\vec{R}_1 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$



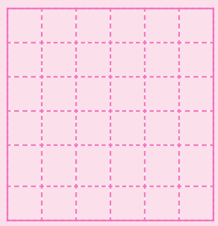
$\vec{R}_2 = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 + 2\vec{F}_3 + \vec{F}_4$



$\vec{R}_3 = 2\vec{F}_1 + \vec{F}_2 - 2\vec{F}_3 + \vec{F}_4$



$\vec{R}_4 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 - 2\vec{F}_3 + \frac{1}{2}\vec{F}_4$



$\vec{R}_5 = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 - \vec{F}_3 - \vec{F}_4$

Paralelkenar Yöntemi

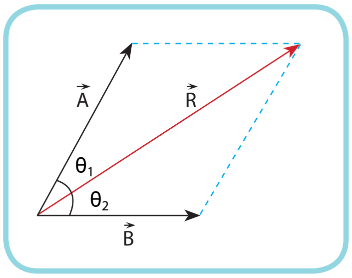


Şekil 1.11: Paralelkenar yöntemiyle bileşke vektörün bulunması

Bileşke vektörü bulmanın diğer bir yolu da paralelkenar yöntemidir. Paralelkenar yöntemiyle bileşkesi bulunacak $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri, yön ve doğrultuları değiştirilmeden başlangıç noktaları bir araya gelecek şekilde taşınır. Bu nokta aynı zamanda bileşke vektörün başlangıç noktasıdır. Vektörlerin kenar kabul edildiği bir paralelkenar oluşturulur. Bunun için vektörlerin uçlarından diğer vektöre paralel olan doğrular çizilir. Doğruların kesiştiği nokta, bileşke vektörün bitiş noktasıdır. Vektörlerin başlangıç noktası ile paralel doğruların kesişim noktası birleştirilerek bileşke vektör $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$ bulunur (Şekil 1.11).

Paralelkenar yöntemiyle çizilen bileşke vektörün büyüklüğü hesaplanarak bulunur. Aralarında α açısı bulunan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğünü hesaplamak için Kosinüs teoreminden elde edilen

$R^2 = A^2 + B^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos\alpha$ ifadesi kullanılır.



Şekil 1.12: Vektörler ile bileşke vektör arasındaki açılar

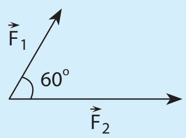
Vektörlerin büyüklükleri eşit ise bileşke vektör her iki vektörle aynı açıyı yapar ve açıortay üzerinde bulunur. Vektörlerin büyüklükleri birbirinden farklı ise bileşke vektörün büyük olan vektör ile yaptığı açı daha küçüktür. Vektörlerin büyüklükleri ile bileşke vektörle yaptıkları açılar arasında

A = B ise $\theta_1 = \theta_2$

B > A ise $\theta_1 > \theta_2$

A > B ise $\theta_2 > \theta_1$ ilişkisi vardır (Şekil 1.12).

5. ÖRNEK



Aynı noktaya etki eden sırasıyla 3 N ve 5 N büyüklüğündeki $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri, aralarında 60° açı olacak şekilde yerleştirilmiştir.

$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesinin büyüklüğü kaç N olur? (cos 60° = $\frac{1}{2}$ alınız.)

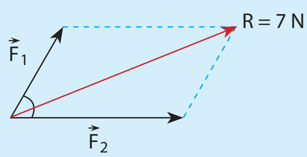
ÇÖZÜM

Kosinüs teoremine göre

$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos 60°$

$R^2 = 3^2 + 5^2 + 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \frac{1}{2}$

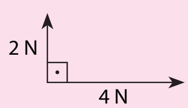
$R^2 = 49 \implies R = 7\,N$ bulunur.

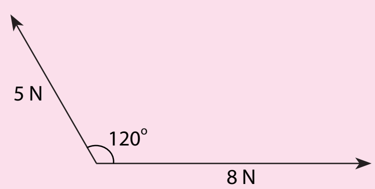


5. ALIŞTIRMA

Büyüklükleri ve yönleri aşağıda verilen kuvvetlerin bileşkelerinin büyüklüğü kaç N olur?

(cos 90° = 0 ve cos 120° = $-\frac{1}{2}$ alınız.)

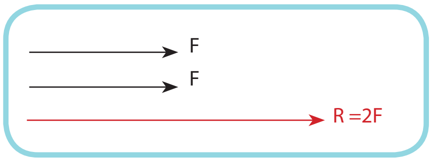




ÇÖZÜM

Eşit Büyüklükteki Vektörlerin Bileşkesi

$\alpha = 0^\circ$ ise



Şekil 1.13: Aralarında 0° açı bulunan eşit büyüklükte vektörler

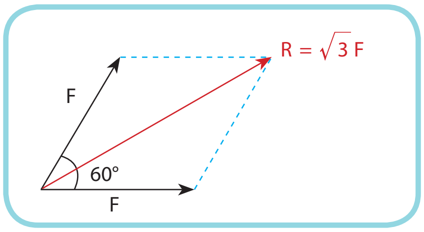
Şekil 1.13'teki F büyüklüğündeki vektörlerin doğrultu ve yönleri aynıdır. Vektörler arasındaki açı 0° dir.

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \cos 0^\circ$ $\quad (\cos 0^\circ = 1)$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F^2 \cdot 1$

$R^2 = 4F^2 \Longrightarrow R = 2F$ bulunur.

$\alpha = 60^\circ$ ise



Şekil 1.14: Aralarında 60° açı bulunan eşit büyüklükte vektörler

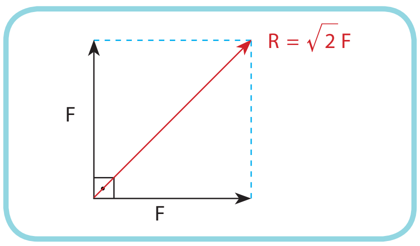
Şekil 1.14'teki F büyüklüğündeki vektörlerin doğrultuları farklıdır ve vektörler arasındaki açı 60° dir.

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \cos 60^\circ$ $\quad (\cos 60^\circ = \frac{1}{2})$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F^2 \cdot \frac{1}{2}$

$R^2 = 3F^2 \Longrightarrow R = \sqrt{3}\, F$ bulunur.

$\alpha = 90^\circ$ ise



Şekil 1.15: Aralarında 90° açı bulunan eşit büyüklükte vektörler

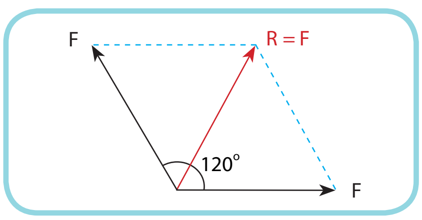
Şekil 1.15'teki F büyüklüğündeki vektörlerin doğrultuları farklıdır ve vektörler arasındaki açı 90° dir.

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \cos 90^\circ$ $\quad (\cos 90^\circ = 0)$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F^2 \cdot 0$

$R^2 = 2F^2 \Longrightarrow R = \sqrt{2}\, F$ bulunur.

$\alpha = 120^\circ$ ise



Şekil 1.16: Aralarında 120° açı bulunan eşit büyüklükte vektörler

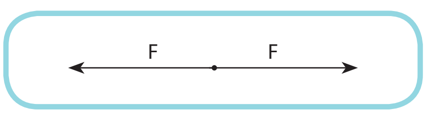
Şekil 1.16'daki F büyüklüğündeki vektörlerin doğrultuları farklıdır ve vektörler arasındaki açı 120° dir.

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \cos 120^\circ$ $\quad (\cos 120^\circ = -\frac{1}{2})$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F^2 \cdot (-\frac{1}{2})$

$R^2 = F^2 \Longrightarrow R = F$ bulunur.

$\alpha = 180^\circ$ ise



Şekil 1.17: Aralarında 180° açı bulunan eşit büyüklükte vektörler

Şekil 1.17'deki F büyüklüğündeki vektörlerin yönleri zıttır ve vektörler arasındaki açı 180° dir.

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \cos 180^\circ$ $\quad (\cos 180^\circ = -1)$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F^2 \cdot (-1)$

$R^2 = 2F^2 - 2F^2 \Longrightarrow R = 0$ bulunur.

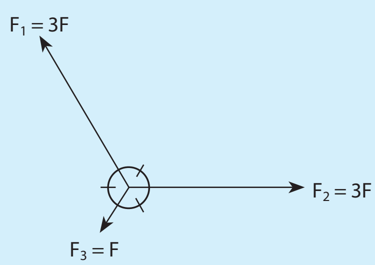
F büyüklüğünde eşit iki vektörün arasındaki açıya göre bileşkelerinin büyüklükleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Büyüklükleri Eşit ve F Olan İki Vektörün Aralarındaki Açılara Göre Bileşkesi

Vektörler Arasındaki Açı	Bileşke Vektörün Büyüklüğü	Özel Durum
0°	2F	Eşit büyüklükteki vektörler arasındaki açı 0° ise bileşke vektörün büyüklüğü, en büyük değerini alır ve vektörlerden birinin iki katıdır.
60°	$\sqrt{3}F$	Eşit büyüklükteki vektörler arasındaki açı 60° ise bileşke vektörün büyüklüğü, vektörlerden birinin $\sqrt{3}$ katına eşittir.
90°	$\sqrt{2}F$	Eşit büyüklükteki vektörler arasındaki açı 90° ise bileşke vektörün büyüklüğü, vektörlerden birinin $\sqrt{2}$ katına eşittir.
120°	F	Eşit büyüklükteki vektörler arasındaki açı 120° ise bileşke vektörün büyüklüğü, vektörlerden birinin büyüklüğüne eşittir.
180°	0	Eşit büyüklükteki vektörler arasındaki açı 180° ise bileşke vektörün büyüklüğü sıfırdır.

Tablo 1.1 incelendiğinde bileşke vektörün büyüklüğünün vektörler arasındaki açıya bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Açı 0° iken bileşke vektör en büyük değerini; açı 180° iken en küçük değerini almaktadır. İki vektör arasındaki açı arttıkça bileşke vektörün büyüklüğü azalır. İki vektör arasındaki açı $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ise bileşke vektör her zaman bileşenlerden daha büyük olur.

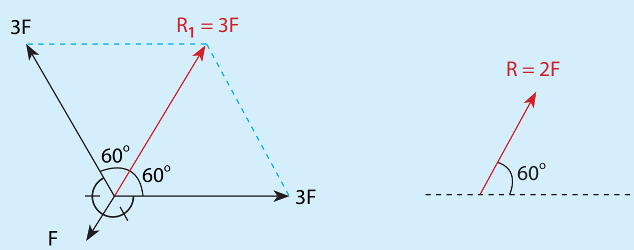
6. ÖRNEK



Aynı noktaya etki eden ve aralarında eşit büyüklükte açı bulunan $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekildeki gibidir.

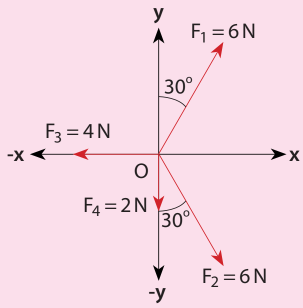
Kuvvetlerin bileşkesinin yönünü ve büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM



Eşit büyüklükteki kuvvetler arasındaki açılar 120° dir. $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesi $\vec{R}_1$, açıortay üzerinde ve 3F büyüklüğündedir. $\vec{R}_1$ ile $\vec{F}_3$ kuvveti zıt yönlüdür. Buna göre üç vektörün bileşkesi R'nin büyüklüğü R = 3F – F = 2F olur.

6. ALIŞTIRMA



Şekildeki kartezyen koordinat sisteminde $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinin yönleri ve büyüklükleri verilmiştir.

Kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğü kaç N olur?

(sin 30° = $\frac{1}{2}$ ve cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

Ç) VEKTÖRLERİN İKİ BOYUTLU KARTEZYEN KOORDİNAT SİSTEMİNDE BİLEŞENLERİNE AYRILMASI

İki vektör toplandığında bileşke vektör elde edilir. Bileşke vektörü bulmak için kullanılan her bir vektöre de bileşke vektörün bileşenleri denir. Kartezyen koordinat sisteminde bir vektörün bileşenleri bulunabilir.



a) Vektörün koordinatta gösterimi

b) Vektör ve bileşen büyüklüklerinin oluşturduğu üçgen

Şekil 1.18: Vektörün bileşenleri

Bileşenlerine ayrılmak istenen $\vec{A}$ vektörü, başlangıç noktası orijin olacak şekilde koordinat sistemine yerleştirilir. $\vec{A}$ vektörünün bitiş noktasından x ve y eksenlerine paralel doğrular çizilir. Bu doğruların eksenleri kestiği noktalar ile orijin noktası birleştirilerek yatay ve düşey doğrultuda iki vektör elde edilir. x ekseni üzerindeki vektör, $\vec{A}$ vektörünün x bileşeni olup A_x sembolü ile gösterilir. y ekseni üzerindeki vektör, $\vec{A}$ vektörünün y bileşeni olup A_y sembolü ile gösterilir (Şekil 1.18.a).

$\vec{A}$ vektörünün bileşenleri A_x ve A_y'nin büyüklükleri hesaplanırken Şekil 1.18.b'deki üçgenin kenar uzunlukları kullanılabilir. $\vec{A}$ vektörünün yatay düzlemle yaptığı açının trigonometrik değerleri kullanılarak

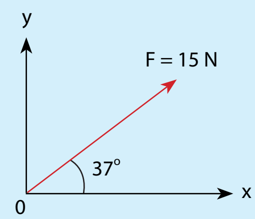
$\cos\alpha = \frac{A_x}{A}$ ise $A_x = A \cdot \cos\alpha$

$\sin\alpha = \frac{A_y}{A}$ ise $A_y = A \cdot \sin\alpha$ bağıntıları bulunur.

$\vec{A}$ vektörünün büyüklüğü Pisagor teoremi yardımıyla hesaplanabilir.

$A^2 = A_x^2 + A_y^2$ olur.

7. ÖRNEK

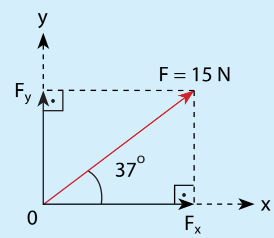


Şekildeki koordinat sisteminde gösterilen 15 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvvetinin x ekseni üzerindeki bileşeninin büyüklüğü F_x, y ekseni üzerindeki bileşeninin büyüklüğü F_y'dir.

Buna göre $\frac{F_x}{F_y}$ oranını bulunuz. (cos 37° = 0,8 ve sin 37° = 0,6 alınız.)

ÇÖZÜM

$\vec{F}$ kuvvetinin uçlarından x ve y eksenlerine paralel doğrular çizilerek F_x ve F_y elde edilir. Oluşan dik üçgenin kenar uzunlukları, trigonometrik değerler kullanılarak bulunur.



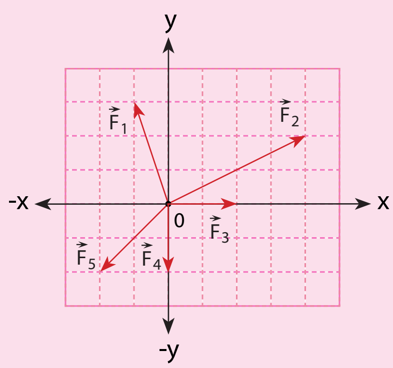
$F_x = F \cdot \cos 37° = 15 \cdot 0{,}8 = 12$ N

$F_y = F \cdot \sin 37° = 15 \cdot 0{,}6 = 9$ N

$\frac{F_x}{F_y} = \frac{12}{9} = \frac{4}{3}$ olur.

7. ALIŞTIRMA

Eşit bölmelere ayrılmış yatay düzlemde, O noktasal cismine aynı anda etki eden $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ ve $\vec{F}_5$ kuvvetleri şekildeki gibidir. Her bölmenin kenar uzunluğu 1 birim kabul edilerek $\vec{F}_1$ kuvvetinin bileşenleri tabloda verilmiştir.



Buna göre

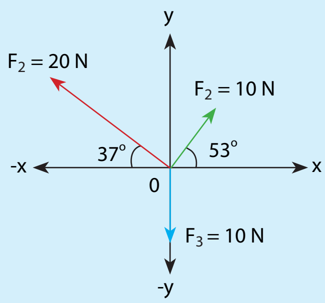
a) **$\vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ ve $\vec{F}_5$ kuvvetlerinin bileşenlerini tabloya yazınız.**

b) **$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5$ ise $\vec{R}$ vektörünün koordinatlarını tabloya yazınız.**

ÇÖZÜM

Kuvvet	x bileşeni	y bileşeni
$\vec{F}_1$	-1	+3
$\vec{F}_2$		
$\vec{F}_3$		
$\vec{F}_4$		
$\vec{F}_5$		
$\vec{R}$		

8. ÖRNEK



Şekilde verilen koordinat sisteminde $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri gösterilmiştir.

Buna göre kuvvetlerin bileşkesini bulunuz.
($\cos 37° = 0{,}8$ ve $\sin 37° = 0{,}6$ alınız.)

ÇÖZÜM

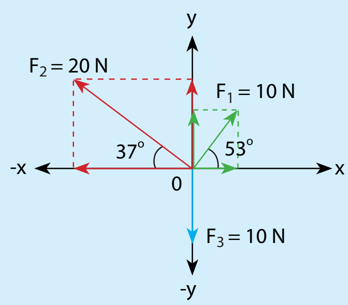
$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin yatay ve düşey bileşenleri bulunur.

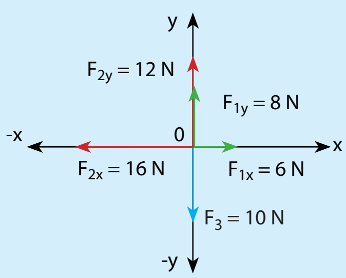
$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 53° = 10 \cdot 0{,}6 = 6 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin 53° = 10 \cdot 0{,}8 = 8 \text{ N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 37° = 20 \cdot 0{,}8 = 16 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \cdot \sin 37° = 20 \cdot 0{,}6 = 12 \text{ N olur.}$$



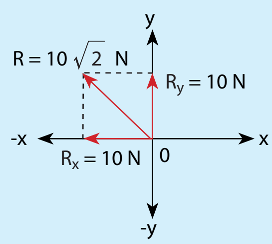


Düşey doğrultudaki kuvvetlerin bileşkesi R_y olmak üzere bileşkenin büyüklüğü

$$R_y = F_{1y} + F_{2y} - F_3 \Longrightarrow R_y = 8 + 12 - 10 = 10 \text{ N olur.}$$

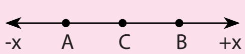
Yatay doğrultudaki kuvvetlerin bileşkesi R_x olmak üzere bileşkenin büyüklüğü

$$R_x = F_{1x} - F_{2x} \Longrightarrow R_x = 6 - 16 = -10 \text{ N olur.}$$



R_x ve R_y vektörleri eşit büyüklüktedir ve aralarındaki açı 90° dir. Bileşkeleri, bileşenlerden birinin $\sqrt{2}$ katına eşittir. Buna göre R_x ve R_y vektörlerinin bileşkesi R'nin büyüklüğü $10\sqrt{2}$ N olur.

8. ALIŞTIRMA



Bir araç AB yolunda, C noktasından sabit 80 km/h hızla harekete başlayıp B noktasına doğru gitmektedir.

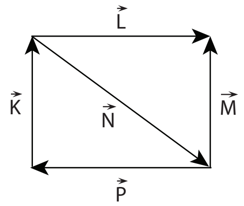
Verilen ifadeye göre aracın hızıyla ilgili özelliklerini aşağıdaki tabloya yazınız.

ÇÖZÜM

Doğrultu	
Yön	
Başlangıç Noktası	
Hızın Büyüklüğü	

1. BÖLÜM SONU SORULARI

1. Aynı düzlemde bulunan $\vec{K}, \vec{L}, \vec{M}, \vec{N}$ ve $\vec{P}$ vektörlerinin yönleri ve doğrultuları şekildeki gibidir.



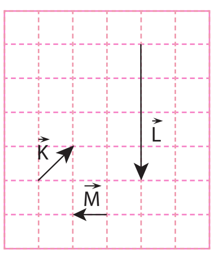
Buna göre verilen eşitliklerden hangileri doğrudur?

I. $\vec{N} + \vec{P} = \vec{K}$ **II.** $\vec{L} + \vec{M} = \vec{N}$ **III.** $\vec{N} + \vec{P} + \vec{K} = 0$

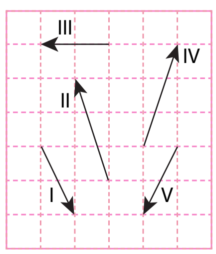
IV. $\vec{K} + \vec{L} - \vec{M} = -\vec{P}$ **V.** $\vec{M} + \vec{N} = -\vec{L}$

ÇÖZÜM

2. Eşit kare bölmelere ayrılmış düzlemde $\vec{K}, \vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri Şekil I'deki gibidir.



Şekil I



Şekil II

Buna göre $\vec{K} - \frac{\vec{L}}{2} + 2\vec{M}$ vektörü Şekil II'dekilerden hangisidir?

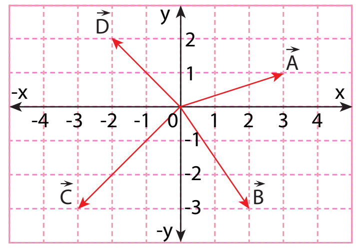
ÇÖZÜM

3. Başlangıç noktaları aynı, büyüklükleri sırasıyla 2 birim ve 3 birim olan iki vektörün arasındaki açı 60° dir.

Buna göre vektörlerin bileşkesinin büyüklüğü kaç birimdir? (cos $60^\circ = \frac{1}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

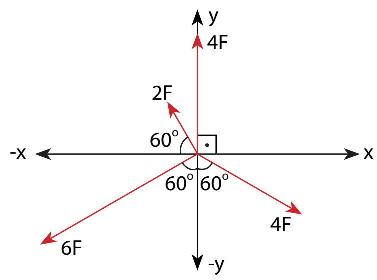
4. İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde $\vec{A}, \vec{B}, \vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörleri verilmiştir.



Buna göre bileşke vektörün koordinatları nedir?

ÇÖZÜM

5.

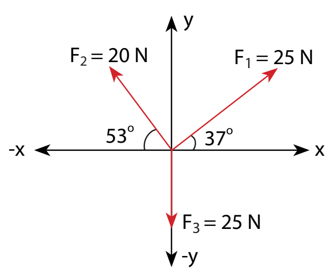


Şekildeki gibi verilen kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğü kaç F olur?

(sin $60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ve cos $60^\circ = \frac{1}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

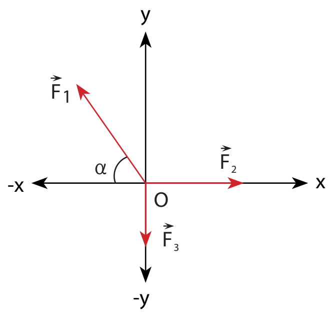
6. Aynı düzlemde bulunan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekilde verilmiştir.



Buna göre kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğü kaç N olur? (cos $37^\circ = 0{,}8$ ve sin $37^\circ = 0{,}6$ alınız.)

ÇÖZÜM

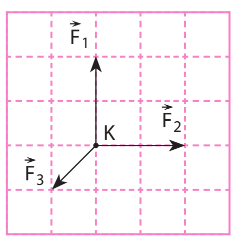
7. O noktasına etki eden aynı düzlemdeki $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin bileşkesi sıfırdır.



$\alpha > 45^\circ$ **olduğuna göre** $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ **kuvvetlerinin büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?**

ÇÖZÜM

8. K noktasal cismi sürtünmelerin ihmal edildiği eşit kare bölmelere ayrılmış yatay düzlemde durmakta ve K cismine aynı anda $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulanmaktadır.



Buna göre

a) **Kuvvetlerin etkisindeki cismin hareket yönü nedir?**

b) **Hangi kuvvet kaldırılırsa cismin hareket yönü değişmez?**

c) **Başlangıçta $\vec{F}_3$ kuvvetinin büyüklüğü iki katına çıkarılmış olsaydı cismin hareketi için ne söylenebilirdi?**

ÇÖZÜM

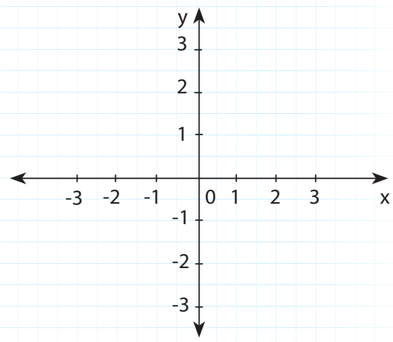
9. İki ve üç boyutlu kartezyen koordinat sistemleri verilmiştir.

Buna göre

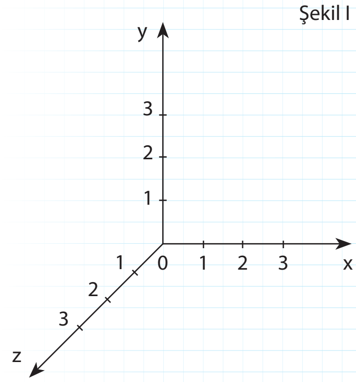
a) **Koordinatları A(2,-2) ve B(-3,2) olan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerini Şekil I'deki kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.**

b) **Koordinatları C(1,2,3) olan $\vec{C}$ vektörünü Şekil II'deki kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.**

ÇÖZÜM

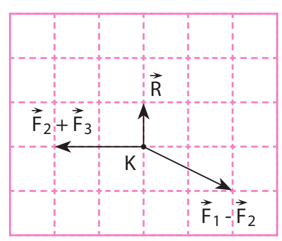


Şekil I



Şekil II

10. Eşit kare bölmelere ayrılmış düzlemde bulunan noktasal K cismine etki eden $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin bileşkesi $\vec{R}$, $\vec{F}_1 - \vec{F}_2$ ve $\vec{F}_2 + \vec{F}_3$ kuvvetleri verilmiştir. Kare bölmelerin bir kenarı 1 birimdir.



Buna göre $\vec{F}_2$ kuvvetinin büyüklüğü kaç birimdir?

ÇÖZÜM

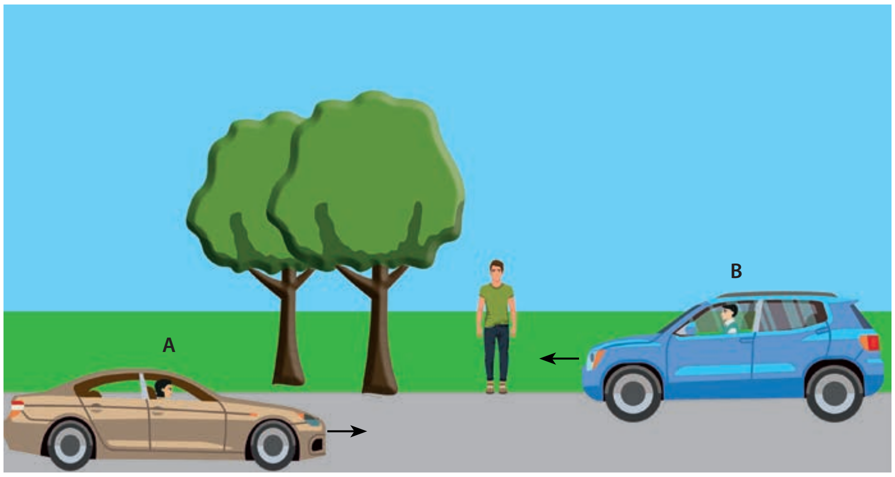
1.2. BAĞIL HAREKET



Görsel 1.2: Belediye otobüsünde seyahat eden insanlar

Hareket hâlindeki belediye otobüsünde bulunan bir yolcu, dışarıya baktığında binaları, kaldırım taşlarını, durakta otobüs bekleyen insanları hareketli; otobüsün içindeki diğer yolcuları durgun görür (Görsel 1.2). Otobüsten indiğinde ise otobüsteyken hareketli gördüğü insanların ve nesnelerin durgun olduğunu görür. Bu durumda bir cismin aynı anda farklı hızlara sahip olduğu söylenebilir mi?

Görsel 1.3'te oklarla gösterilen yönlerde hareket eden A ve B araçlarının sürücüleri ile yol kenarında duran kişiye ağacın hareket edip etmediği sorulduğunda her biri nasıl cevap verir?



Görsel 1.3: Yere göre hareketli ve hareketsiz gözlemciler

Görsel 1.3'teki gibi yatay düz bir yolda A ve B araçları birbirlerine doğru hareket ederken bir kişi de yol kenarında durmaktadır. Yol kenarında duran kişiye sorulduğunda, ağacın durgun olduğunu söyleyecektir. Araçların sürücüleri ise ağacın kendilerine göre zıt yönde hareket ettiğini ifade edeceklerdir. Kişi durduğu yerden, sürücüler ise belirli bir hızla ve belirli bir yöne doğru ilerleyen araçların içinden gözlem yapmaktadırlar. Gözlemlerinin farklı olmasının sebebi, farklı referans sistemlerinde (hız, yer değiştirme gibi fiziksel büyüklüklerin tanımlanabilmesi için gözlem yapılan yer) bulunmalarıdır.

Cisimlerin hareketlerinin veya hızlarının tanımlanması, seçilen referans sistemine göre farklılık gösterebilir. Bir cismin herhangi bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketine **bağıl hareket**, sahip olduğu hıza ise **bağıl hız** denir. Araçların hızlarını anlatmak için kullanılan ifadelerde, referans sistemi olarak yerküre seçilmiştir. Örneğin "Araba 60 km/h'lik hızla gitmektedir." dendiğinde arabanın yere göre hızının büyüklüğü anlatılmaktadır.

A) SABİT HIZLI İKİ CİSMİN BİRBİRİNE GÖRE HAREKETİ

Aynı yönde sabit hızla hareket eden sistemlerde bulunan gözlemciler birbirlerinin hızlarını sahip oldukları hızlardan farklı görebilir. Bunun sebebi her birinin referans sisteminin farklı olmasıdır.



Şekil 1.19: Aynı yönde sabit hızla hareket eden araçlar

Şekil 1.19'daki gibi yere göre $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ sabit hızlarıyla aynı yönde hareket eden araçlardan K aracındaki gözlemci, L aracının

$v_K = v_L$ ise durgun olduğunu

$v_K > v_L$ ise geriye doğru gittiğini

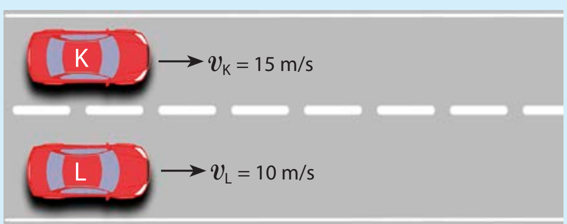
$v_K < v_L$ ise ileriye doğru gittiğini görür.

L aracının K'deki gözlemciye göre hızının yani bağıl hızının yönü ve büyüklüğü vektörel işlemler yardımıyla bulunur. Bağıl hız bulunurken önce gözlemci ve gözlenen belirlenir. Ardından gözlemci ve gözlenenin yere göre hız vektörleri belirlenir. Bağıl hız, gözlenen cismin yere göre hızından gözlemcinin yere göre hızı vektörel olarak çıkarılarak

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

ifadesi ile bulunur. Elde edilen bağıl hız vektörü, L aracının K'deki gözlemciye göre hızının yönünü ve büyüklüğünü ifade eder.

9. ÖRNEK



Yere göre hızının büyüklüğü sabit 15 m/s olan K aracı ile 10 m/s olan L aracı aynı yönde hareket etmektedir.

K aracının L' deki gözlemciye göre hızı nedir?

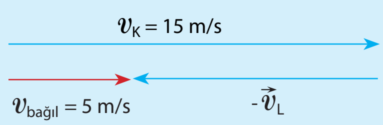
ÇÖZÜM

K aracının L aracına göre hızı sorulduğu için K aracı gözlenen, L aracı ise gözlemcidir.

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$ ifadesinden

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_K - \vec{v}_L \Longrightarrow \vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_K + (-\vec{v}_L) \Longrightarrow v_{bağıl} = 15 - 10 = 5$ m/s olur.

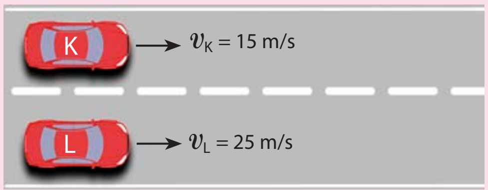
Vektörel olarak bağıl hızın gösterimi yapılırsa



şeklinde olur.

K aracının L aracındaki gözlemciye göre hızı, L ile aynı yönde ve 5 m/s'dir.

9. ALIŞTIRMA

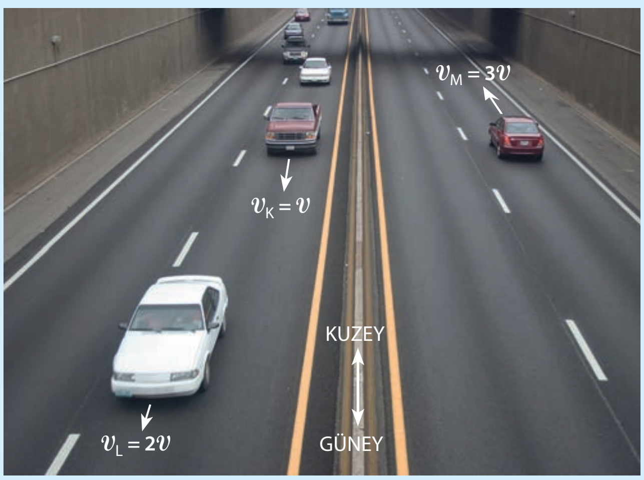


Yere göre hızının büyüklüğü sabit 15 m/s olan K aracı ile 25 m/s olan L aracı aynı yönde hareket etmektedir.

K aracının L'deki gözlemciye göre hızı kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

10. ÖRNEK



K, L ve M araçları kuzey-güney doğrultusunda birbirine paralel yollarda ve şekilde gösterilen yönlerde sırasıyla v, $2v$ ve $3v$ büyüklüğünde sabit hızlarla hareket etmektedir.

Buna göre

a) **K aracının sürücüsü, L aracının hızını nasıl görür?**

b) **K aracının sürücüsü, M aracının hızını nasıl görür?**

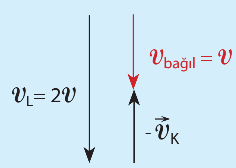
ÇÖZÜM

a) K aracının sürücüsü, L aracına baktığı için gözlemci; L aracı ise gözlenendir. $\vec{v}_L$ ile $-\vec{v}_K$ vektörlerinin bileşkesi alınarak $\vec{v}_{bağıl}$ bulunur. K aracının sürücüsü, L aracının güneye doğru v büyüklüğünde hızla hareket ettiğini görür.

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_L - \vec{v}_K$$

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_L + (-\vec{v}_K)$$

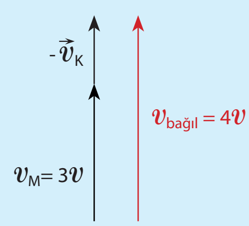


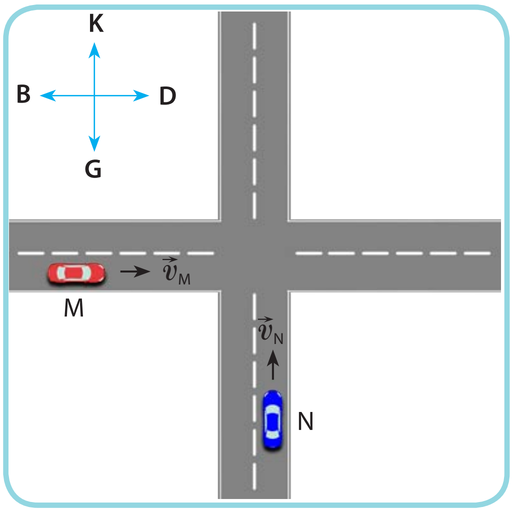
b) K aracının sürücüsü, M aracına baktığı için gözlemci; M aracı ise gözlenendir. $\vec{v}_M$ ile $-\vec{v}_K$ vektörlerinin bileşkesi alınarak $\vec{v}_{bağıl}$ bulunur. K aracının sürücüsü, M aracının kuzeye doğru $4v$ büyüklüğünde hızla hareket ettiğini görür.

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_M - \vec{v}_K$$

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_M + (-\vec{v}_K)$$



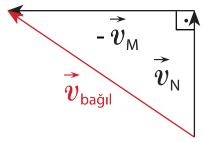


Şekil 1.20: Farklı yönde sabit hızla hareket eden araçlar

Şekil 1.20'de verilen yolda sabit $\vec{v}_M$ hızıyla doğu yönünde hareket eden M aracının sürücüsü, sabit $\vec{v}_N$ hızıyla kuzey yönünde hareket eden N aracına bakmaktadır. Araçların hareket doğrultularının farklı olması, bağıl hızın hesaplanmasında bir farklılık oluşturmaz. M aracı gözlemci, N aracı ise gözlenen durumundadır. Bağıl hız

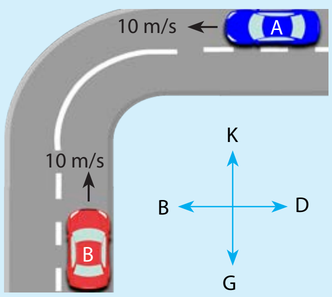
$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

ifadesi kullanılarak bulunur. Vektörel olarak



$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_N - \vec{v}_M$ şeklinde gösterilir.

11. ÖRNEK



Şekildeki A aracı batıya, B aracı ise kuzeye doğru 10 m/s büyüklüğünde sabit hızlarla hareket etmektedir.

Buna göre

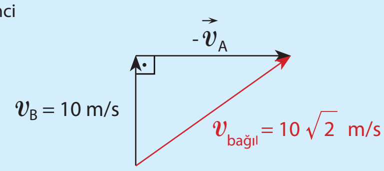
a) A aracının sürücüsü, B aracının hangi hızla hareket ettiğini görür?

b) A aracının sürücüsü, B aracına bakarak kendisinin hangi hızla hareket ettiğini görür?

ÇÖZÜM

a) A aracının sürücüsü gözlemci, B aracı ise gözlenendir.

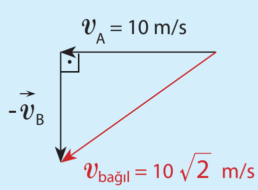
$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$
$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$$
$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_B + (-\vec{v}_A)$$



$\vec{v}_B$ ile $-\vec{v}_A$ vektörleri eşit büyüklükte ve aralarındaki açı 90° olduğundan $v_{bağıl} = 10\sqrt{2}$ m/s bulunur. A aracının sürücüsü, B aracının kuzeydoğuya doğru $10\sqrt{2}$ m/s büyüklüğünde hızla hareket ettiğini görür.

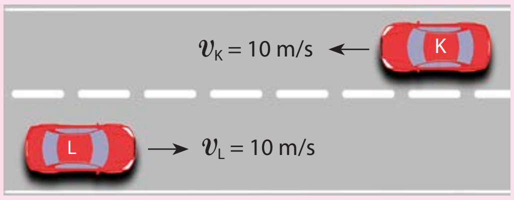
b) Bir hareketli başka bir hareketliye baktığında kendisini gözlenen diğer hareketliyi ise gözlemciymiş gibi görür. Buna göre B aracının sürücüsü gözlemci, A aracı ise gözlenenmiş gibi işlem yapılarak bağıl hız bulunur.

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$
$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$$
$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_A + (-\vec{v}_B)$$



A aracının sürücüsü, B aracına bakarak kendisinin güneybatıya doğru $10\sqrt{2}$ m/s büyüklüğünde hızla hareket ettiğini görür.

10. ALIŞTIRMA

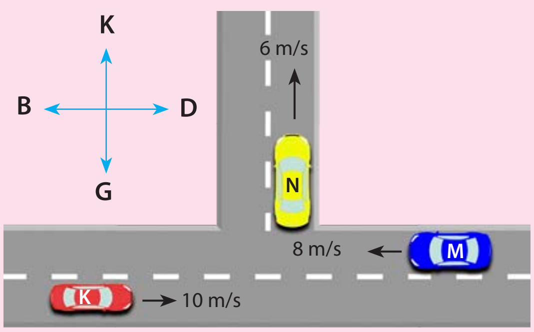


K ve L araçları, yere göre 10 m/s büyüklüğündeki sabit hızla zıt yönde hareket etmektedir.

K aracının L aracının sürücüsüne göre hızı kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

11. ALIŞTIRMA



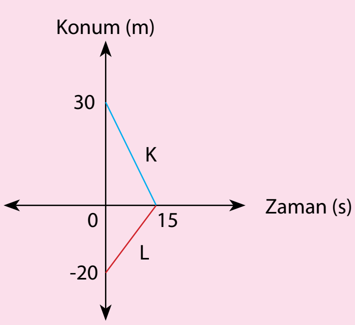
Şekildeki gibi bir yolda hareket eden K, M ve N araçlarından K aracı doğuya doğru 10 m/s, M aracı batıya doğru 8 m/s ve N aracı kuzeye doğru 6 m/s sabit hızlarla hareket etmektedir.

M aracının sürücüsüne göre

a) K aracının hızı kaç m/s olur?
b) N aracının hızı kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

12. ALIŞTIRMA



Doğrusal yolda hareket eden K ve L araçlarının konum-zaman grafiği verilmiştir.

Buna göre K aracının L aracındaki gözlemciye göre hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

12. ÖRNEK

Güney yönünde $2v$ büyüklüğünde sabit hızla hareket eden K aracındaki gözlemci, L aracının $2v$ büyüklüğünde sabit hızla doğu yönünde hareket ettiğini görmektedir.

Buna göre L aracının yere göre hızı nedir?

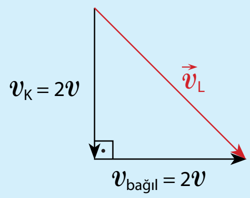
ÇÖZÜM

K aracının sürücüsü gözlemci, L aracı ise gözlenendir.

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{L} - \vec{v}_{K}$

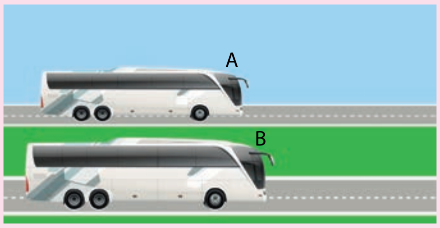
$\vec{v}_{L} = \vec{v}_{K} + \vec{v}_{bağıl}$



$\vec{v}_K$ ile $\vec{v}_{bağıl}$ vektörlerinin arasındaki açı 90° ve eşit büyüklükte olduğundan L aracının yere göre hızı $2\sqrt{2}v$ büyüklüğünde olup güneydoğu yönündedir.

13. ALIŞTIRMA

A ve B otobüsleri birbirine paralel doğrusal yollarda eşit büyüklükte ve sabit hızlarla aynı yönde hareket etmektedir.



Buna göre

a) A otobüsünde oturan bir yolcu, B otobüsünde oturan bir yolcunun hareketini nasıl yorumlar?

b) A otobüsünün sürücüsü hızını artırdığında B otobüsünde oturan yolcu, A otobüsüne bakarak kendisinin hareketini nasıl görür?

c) Otobüsler yan yana giderken A otobüsünün sürücüsü hızını azaltırsa A otobüsünde oturan yolcu, B otobüsündeki yolcunun hareketini nasıl yorumlar?

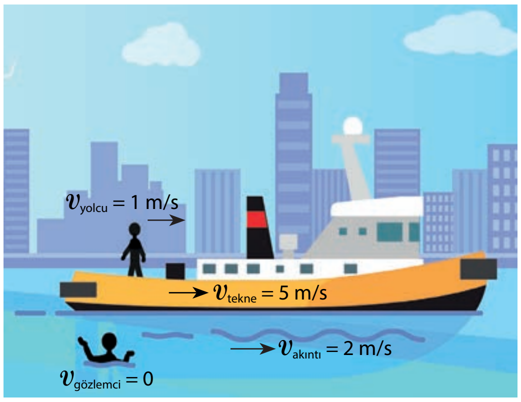
ÇÖZÜM

B) HAREKETLİ BİR ORTAMDAKİ SABİT HIZLI CİSİMLERİN BAĞIL HAREKETİ



Görsel 1.4: İstanbul Boğazı'nda ilerleyen vapur

İstanbul Boğazı'nda akıntının ihmal edildiği bir yerde Görsel 1.4'teki gibi vapurun güvertesinde ve vapurun hareket yönünde yürümekte olan bir yolcu, hem kendi hızından hem de vapurun hızından dolayı yer değiştirir. Kıyıda duran bir gözlemciye göre (yere göre) yolcunun yer değiştirmesi, vapurun yer değiştirmesinden büyüktür. Bu nedenle yolcunun vapurda duran diğer yolculara göre hızı ile kıyıdaki gözlemciye göre hızı farklıdır. Boğaz'da vapurun hareketi ile aynı yönde akıntı olduğunda ise hem vapurun hem de yolcunun yere göre hızı değişecektir. Vapur kendinin ve akıntının hızından dolayı yer değiştirirken yolcu hem kendisinin hem akıntının hem de vapurun hızından dolayı yer değiştirir. Bu durum, hareketli ortamlardaki cisimlerin hareketinin farklı gözlem çerçevelerine göre yorumlanabileceğini gösterir. Birden fazla hareketin etkisindeki cisimlerin yaptığı bu tür hareketlere **bileşik hareket** denir.



Şekil 1.21: Akıntılı nehirde yüzen teknede yürüyen yolcu

Akıntı hızı sabit 2 m/s olan nehirdeki bir tekne, su içerisinde duran bir gözlemciye göre (suya göre) akıntıyla aynı yönde 5 m/s'lik sabit hızla hareket etmektedir. Bu teknenin üzerindeki bir yolcu, tekneyle aynı yönde ve tekneye göre 1 m/s'lik sabit bir hızla yürümektedir (Şekil 1.21).

Yerden bakan bir gözlemciye göre yolcunun 1 saniyedeki yer değiştirmesi, yürüme hızından dolayı 1 m, teknenin hızından dolayı 5 m, akıntı hızından dolayı 2 m olmak üzere

$$x_{yolcu} = 1 + 5 + 2 = 8 \text{ m olur.}$$

Dolayısıyla yolcunun yere göre hızı 8 m/s'dir.

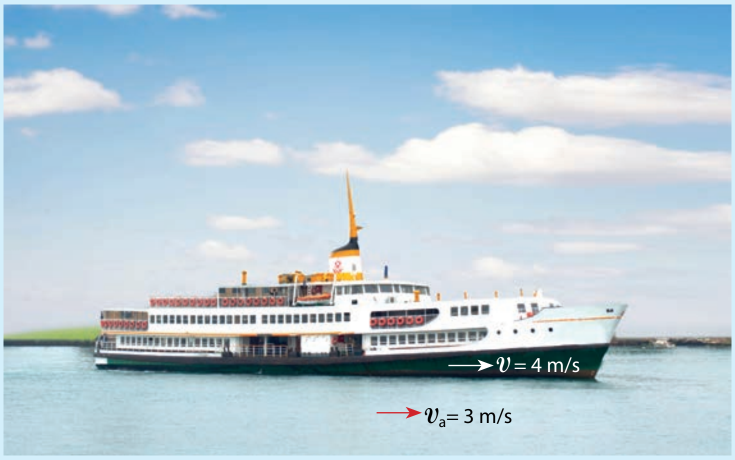
Yerden bakan gözlemciye göre tekne, hızından dolayı 5 m, akıntı hızından dolayı 2 m olmak üzere 1 saniyede

$$x_{tekne} = 5 + 2 = 7 \text{ m}$$

yer değiştirir. Dolayısıyla teknenin yere göre hızı 7 m/s'dir. Bu durumda hareketli ortamdaki cisimlerin yere göre hızı, cismi etkileyen hızların vektörel olarak toplanmasıyla bulunur.

13. ÖRNEK

İstanbul Boğazı'nda akıntı hızının büyüklüğünün 3 m/s olduğu bir yerde, suya göre hızının büyüklüğü 4 m/s olan bir gemi akıntıyla aynı yönde hareket etmektedir. Gemide bulunan bir yolcu gemiye göre 1 m/s büyüklüğünde sabit hızla yürümektedir.



a) Yolcunun gemiyle aynı yönde yürümesi durumunda gemiye göre (v_g) , suya göre (v_{su}) ve yere göre (v_{yer}) hızlarının büyüklükleri kaç m/s olur?

b) Yolcunun gemiyle zıt yönde yürümesi durumunda gemiye göre (v_g), suya göre (v_{su}) ve yere göre (v_{yer}) hızlarının büyüklükleri kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

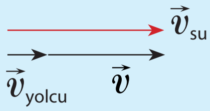
Yolcunun gemiye göre hızı, kendi yürüme hızına eşittir. Suya göre hızı ise yürüme hızı ile geminin durgun sudaki hızının vektörel toplamına eşittir. Yere göre hızı da yürüme hızı, geminin durgun sudaki hızı ile akıntının hızının vektörel toplamına eşittir.

a) Yolcunun gemiyle aynı yönde yürümesi durumunda yolcunun yürüme hızı, akıntı hızı ve geminin hızı ile aynı yönlü olur.

$\vec{v}_g = \vec{v}_{yolcu}$

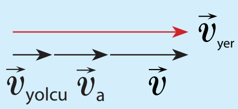
v_{yolcu} = 1 m/s olur.

$\vec{v}_{su} = \vec{v}_{yolcu} + \vec{v}$



v_{su} = 1 + 4 = 5 m/s olur.

$\vec{v}_{yer} = \vec{v}_{yolcu} + \vec{v}_a + \vec{v}$



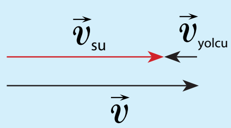
v_{yer} = 1 + 3 + 4 = 8 m/s olur.

b) Yolcu gemiye zıt yönde yürüdüğü için geminin hareket yönü (+), yolcunun hareket yönü (-) seçilerek vektörel işlemler yapılabilir.

$\vec{v}_g = \vec{v}_{yolcu}$

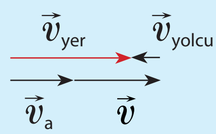
v_{yolcu} = 1 m/s olur.

$\vec{v}_{su} = \vec{v}_{yolcu} + \vec{v}$



v_{su} = 4 - 1 = 3 m/s olur.

$\vec{v}_{yer} = \vec{v}_{yolcu} + \vec{v}_a + \vec{v}$



v_{yer} = 3 + 4 - 1 = 6 m/s olur.

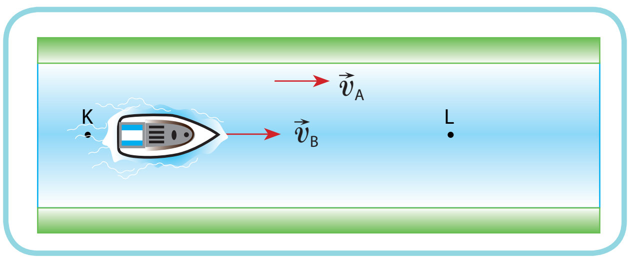
14. ALIŞTIRMA

Birbirlerine paralel hareket eden K ve L yürüme bantlarından K doğuya, L batıya doğru eşit büyüklükte ve sabit hızlarla hareket etmektedir. K bandındaki Melis, bant ile aynı yönde yürümekteyken L'deki Mert, banda göre hareketsizdir.

Buna göre

a) Mert, Melis'in hangi yönde gittiğini görür?
b) Mert, K bandının ve Melis'in hızları hakkında ne söyler?
c) Yerde duran sabit bir gözlemci Mert ve Melis'in hızları hakkında ne söyler?

ÇÖZÜM



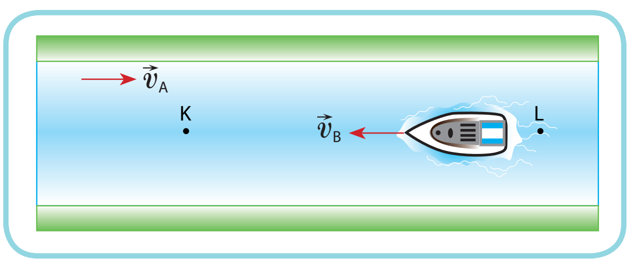
Şekil 1.22: Nehirde akıntıyla aynı yönde hareket eden bot

Akıntı hızının $\vec{v}_A$ olduğu nehirde suya göre $\vec{v}_B$ hızıyla ve akıntıyla aynı yönde hareket eden bot, K ve L noktaları arasında yere göre düzgün doğrusal hareket yapmaktadır (Şekil 1.22). Düzgün doğrusal hareket yapan cismin yer değiştirmesi

$\Delta\vec{x} = \vec{v} \cdot t$ bağıntısıyla bulunur.

Nehir kıyısında duran ve bota bakan bir gözlemci için bu bağıntı

$|KL| = v_{yere\ göre} \cdot t$ şeklinde yazılır.



Şekil 1.23: Nehirde akıntıya zıt yönde hareket eden bot

Suya göre $\vec{v}_B$ hızıyla akıntıya zıt yönde hareket eden botun K ve L noktaları arasındaki hareketini, yere göre hızı belirler. Botun hareketi için üç farklı durum vardır (Şekil 1.23):

$\vec{v}_{yere\ göre} = \vec{v}_B + \vec{v}_A$ ifadesine göre

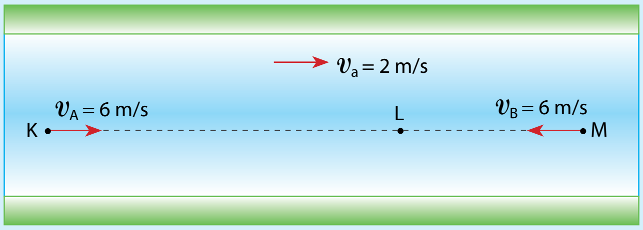
$v_B > v_A$ ise $v_{yere\ göre} = v_B - v_A$ olur. Yere göre hızı akıntıya zıt yönde olduğu için bot K noktasına ulaşabilir. Bu durumda $|KL| = (v_B - v_A) \cdot t$ olur.

$v_B < v_A$ ise $v_{yere\ göre} = v_A - v_B$ olur ve botun yönü akıntıyla aynıdır. Bu durumda bot akıntı yönünde sürüklenir ve K noktasına ulaşamaz.

$v_B = v_A$ ise $v_{yere\ göre} = 0$ olur ve bot yer değiştirmez.

14. ÖRNEK

Akıntı hızının büyüklüğünün 2 m/s olduğu nehirde A motoru, kıyıya paralel olarak akıntıyla aynı yönde ve suya göre 6 m/s büyüklüğünde sabit hızla K noktasından geçmektedir. Aynı anda B motoru da kıyıya paralel olarak akıntıya zıt yönde ve suya göre 6 m/s büyüklüğünde sabit hızla M noktasından geçmektedir.



Motorlar 20 saniye sonra L noktasında karşılaştıklarına göre KL ve LM uzunlukları kaç m olur?

ÇÖZÜM

|KL| uzunluğu A motorunun 20 saniyede aldığı yola eşittir. |LM| uzunluğu da B motorunun 20 saniyede aldığı yola eşittir. Motorların yere göre hızları, suya göre hızları ile akıntının hızının vektörel toplamına eşittir.

A motoru için

$\vec{\upsilon}_{\text{yere göre}} = \vec{\upsilon}_A + \vec{\upsilon}_a$

$\upsilon_{\text{yere göre}} = 6 + 2 = 8$ m/s

$|KL| = \upsilon_{\text{yere göre}} \cdot t = 8 \cdot 20 = 160$ m olur.

B motoru için

$\vec{\upsilon}_{\text{yere göre}} = \vec{\upsilon}_B + \vec{\upsilon}_a$

$\upsilon_{\text{yere göre}} = 6 - 2 = 4$ m/s

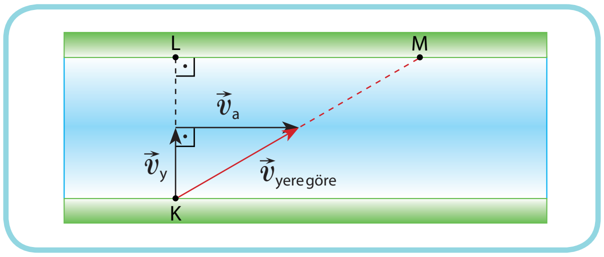
$|LM| = \upsilon_{\text{yere göre}} \cdot t = 4 \cdot 20 = 80$ m olur.

15. ALIŞTIRMA

Akıntı hızının sabit ve 1 m/s olduğu bir ırmakta akıntıyla aynı yönde, kıyıya paralel ve yere göre υ_K büyüklüğünde hızla hareket eden bir kayıktan can simidi suya düşmüştür. Kayıkçı, yere göre aynı hızla hareketine devam ederken can simidinin düştüğünü 30 s sonra fark etmiştir. Can simidi bu sürede kayığın 60 m gerisinde kalmıştır.

Buna göre kayığın suya göre hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM



Şekil 1.24: Nehirde akıntıya dik yönde hareket eden yüzücü

Akıntıya dik olarak hareket eden cisimler hem yatay hem de düşey doğrultuda yer değiştirir. Akıntı hızı büyüklüğünün v_a olduğu bir nehirde, K noktasından akıntıya dik olarak L noktasına doğru ve suya göre v_y büyüklüğünde hızla yüzmeye başlayan bir yüzücü, L noktasından karşı kıyıya çıkamaz. Akıntı yüzücüyü sürükleyerek M noktasından karşı kıyıya çıkmasına neden olur (Şekil 1.24). Yüzücünün yere göre hızı, akıntının hızı ile suya göre hızının bileşkesine eşittir. Yere göre hız vektörü, yüzücünün hangi yönde hareket ederek karşı kıyıya çıkacağını belirler. Yüzücünün karşı kıyıya çıkma süresinde (t) sadece nehrin genişliği ve bu doğrultudaki hız etkilidir. Yüzücünün yatay ve düşey yer değiştirmelerinin büyüklüğü

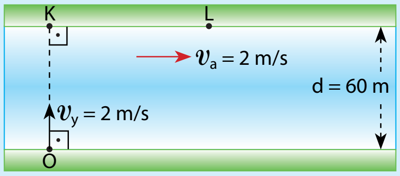
$$|KL| = v_y \cdot t$$

$$|LM| = v_a \cdot t$$

$$|KM| = v_{yere\ göre} \cdot t \text{ olur.}$$

15. ÖRNEK

Şekildeki gibi akıntı hızının sabit ve 2 m/s olduğu bir nehrin O noktasından K noktasına doğru suya göre 2 m/s büyüklüğünde hızla ve akıntıya dik olarak yüzmeye başlayan yüzücü, L noktasından karşı kıyıya çıkmaktadır.



Nehrin genişliği 60 m olduğuna göre

a) Yüzücü kaç saniyede karşı kıyıya çıkar?

b) Yüzücü kaç metre sürüklenmiştir?

c) Yüzücünün yer değiştirmesi kaç metredir?

ÇÖZÜM

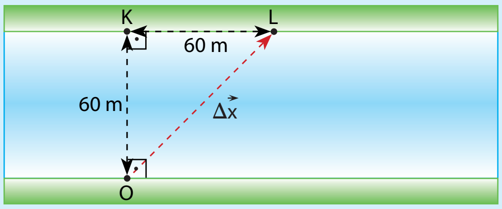
a) Yüzücü karşı kıyıya çıktığında düşeyde 60 m yer değiştirmiştir. Buna göre

$$d = v_y \cdot t \Longrightarrow 60 = 2 \cdot t \Longrightarrow t = 30 \text{ s bulunur.}$$

b) Yüzücü 30 saniye boyunca akıntı hızıyla sürüklenir. Buna göre yüzücünün yatayda yaptığı yer değiştirme

$$|KL| = v_a \cdot t \Longrightarrow |KL| = 2 \cdot 30 \Longrightarrow |KL| = 60 \text{ m olur.}$$

c) Yüzücünün ilk konumu O noktası, son konumu L noktası olduğu için yer değiştirmesinin büyüklüğü |OL| uzunluğuna eşittir. Pisagor bağıntısı yardımıyla |OL| uzunluğu bulunur.

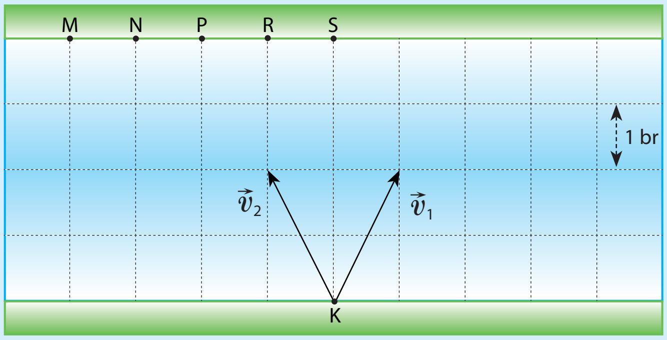


$$(\Delta x)^2 = 60^2 + 60^2$$

$$(\Delta x)^2 = 7\,200$$

$$\Delta x = 60\sqrt{2} \text{ m olur.}$$

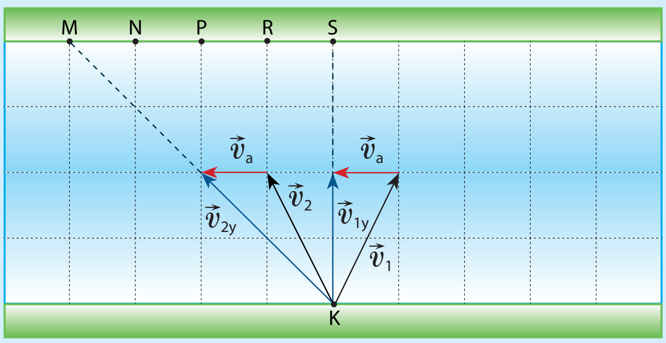
16. ÖRNEK



Akıntı hızının sabit olduğu bir nehrin K noktasından suya göre $\vec{v}_1$ ve $\vec{v}_2$ hızlarıyla yüzen yüzücülerden hızı $\vec{v}_1$ olan, S noktasından karşı kıyıya çıkmaktadır.

Buna göre hızı $\vec{v}_2$ olan yüzücü hangi noktadan karşı kıyıya çıkar?

ÇÖZÜM



Yere göre hız vektörleri, yüzücülerin karşı kıyıya çıkacağı yeri belirler. Hızı $\vec{v}_1$ olan yüzücü S noktasından karşı kıyıya çıktığına göre akıntının hızı sola doğru 1 birim olur. Hızı $\vec{v}_2$ olan yüzücünün yere göre hızı, suya göre hızı ile akıntının hızının vektörel toplamıyla bulunur. Yüzücü yere göre hızının ($\vec{v}_{2y}$) yönünde hareket ederek M noktasından karşı kıyıya çıkar.

16 . ALIŞTIRMA

Bir balıkçı motoru, akıntı hızının sabit ve 3 m/s olduğu nehirde akıntıya dik olarak ve sabit hızla harekete başlayarak karşı kıyıya 10 s'de ulaşmaktadır.

Balıkçı motorunun kıyıdaki bir gözlemciye göre hızının büyüklüğü 5 m/s olduğuna göre

a) Balıkçı motorunun suya göre hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

b) Balıkçı motorunun sürüklenme mesafesi kaç m olur?

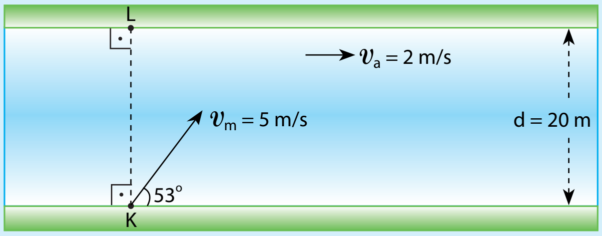
c) Balıkçı motoru kaç m yol alır?

ç) Nehrin genişliği kaç m olur?

ÇÖZÜM

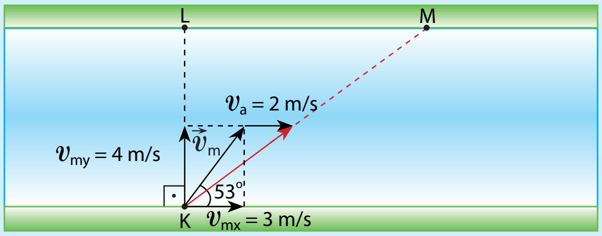
17. ÖRNEK

Bir motor, akıntı hızı sabit 2 m/s büyüklüğünde olan ve 20 m genişliğindeki nehirde K noktasından şekildeki gibi harekete başlayıp suya göre 5 m/s büyüklüğünde sabit hızla ilerlemektedir.



Buna göre motorun karşı kıyıya ulaştığı noktanın L noktasına olan uzaklığı kaç metredir?
(cos 53° = 0,6 ve sin 53° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM



Motorun suya göre hızının yatay ve düşey bileşenleri

$v_{my} = v_m \cdot \sin 53° = 5 \cdot 0{,}8 = 4$ m/s

$v_{mx} = v_m \cdot \cos 53° = 5 \cdot 0{,}6 = 3$ m/s olur.

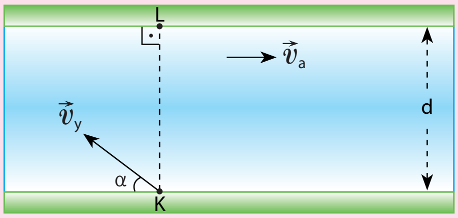
Motorun hareket süresini, KL uzunluğuna paralel olan hız bileşeni belirler.

$|KL| = v_{my} \cdot t \Longrightarrow 20 = 4 \cdot t \Longrightarrow t = 5$ s sonra karşı kıyıya ulaşır. Motor karşı kıyıya ulaşıncaya kadar kendi hızının yatay bileşeni ve akıntı hızının etkisi ile sürüklenerek yatayda LM mesafesini alır.

$|LM| = (v_{mx} + v_a) \cdot t \Longrightarrow |LM| = (3 + 2) \cdot 5 \Longrightarrow |LM| = 25$ m olarak bulunur.

17. ALIŞTIRMA

Suya göre hızı $\vec{v}_y$ olan bir yüzücü, akıntı hızı sabit ve $\vec{v}_a$ olan d genişliğindeki nehre K noktasından girip karşı kıyıdaki L noktasından çıkmaktadır.



Buna göre

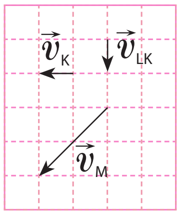
a) Akıntının hızı daha büyük olduğunda
b) Nehir daha geniş olduğunda
c) Yüzücünün hızı daha büyük olduğunda

yüzücünün karşı kıyıda çıktığı yerin L noktasına göre uzaklığı nasıl değişir?

ÇÖZÜM

2. BÖLÜM SONU SORULARI

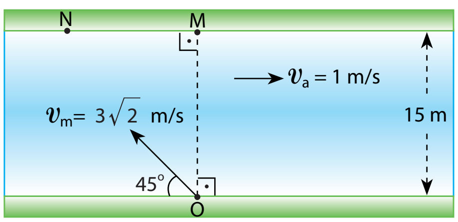
1. Eşit kare bölmelere ayrılmış düzlemde sabit hızla hareket eden K, L ve M araçlarından K ile M'nin yere göre hızları $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_M$, L'nin K'ye göre hızı $\vec{v}_{LK}$ şekildeki gibidir.



Bu durumda M'nin L'ye göre hızını bulunuz.

ÇÖZÜM

2. Akıntı hızının sabit ve 1 m/s olduğu ırmakta bir motor yere göre $3\sqrt{2}$ m/s sabit hızla O noktasından şekildeki gibi harekete başladığı anda M noktasından da bir yüzücü kıyıya paralel olarak sabit hızla yüzmeye başlamıştır.



Irmağın genişliği 15 m olduğuna göre yüzücünün motorla aynı sürede N noktasına gelebilmesi için suya göre hızının büyüklüğü kaç m/s olmalıdır?

($\cos 45° = \sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

3. Doğrusal yolda 10 m/s sabit hızla hareket eden belediye otobüsündeki bir yolcu, otobüsün arka tarafından orta kısmına doğru otobüse göre 1 m/s sabit hızla yürümektedir.

Bu durumda yolcunun otobüse göre ve yere göre hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

4. Durgun sudaki hızının büyüklüğü 3 m/s olan bir yüzücü, akıntı hızının +x yönünde 2 m/s olduğu bir nehirde yüzmektedir.

Buna göre

a) Akıntıyla aynı yönde yüzdüğünde yüzücünün yere göre hızı kaç m/s olur?

b) Akıntıya zıt yönde yüzdüğünde yüzücünün yere göre hızı kaç m/s olur?

c) Yerden bakan bir gözlemcinin yüzücüyü durgun hâlde görmesi için yüzücünün akıntıya göre hangi yönde ve kaç m/s büyüklüğünde hızla yüzmesi gerekir?

ÇÖZÜM

5. Durgun sudaki hızı 3 m/s olan bir motor, akıntı hızının 1 m/s olduğu nehirde kıyıya dik olarak harekete başlayarak karşı kıyıya ulaşmaktadır.

Buna göre

a) Motorun yere göre hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

b) Nehrin genişliği 30 m olduğuna göre motor kaç saniyede karşı kıyıya ulaşır?

c) Karşı kıyıya ulaştığında akıntı motoru kaç metre sürüklemiştir?

ÇÖZÜM

6. 60 km/h'lik hızla +x yönünde giden trende durmakta olan bir yolcu trenden dışarıya baktığında bir arabanın 40 km/h'lik hızla -x yönünde gittiğini görmektedir.

Arabanın yere göre hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

7. Doğu-batı doğrultusunda sabit hızlarla hareket eden K, L ve M araçlarından K'nin yere göre hızı batı yönünde v büyüklüğündedir. L aracındaki gözlemci ise K'nin $2v$ büyüklüğünde hızla doğuya gittiğini görmektedir. M aracındaki gözlemci de L'nin $2v$ büyüklüğünde hızla batıya doğru gittiğini görmektedir.

Buna göre K aracındaki gözlemci M'ye bakarak kendi hızı için ne söyler?

ÇÖZÜM

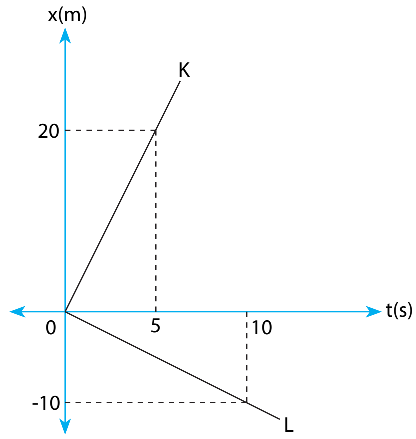
8. Rüzgârsız hava şartlarında 80 km/h büyüklüğünde hızla giden bir yangın söndürme uçağı, kuzeye doğru gitmektedir. Bu esnada uçak 60 km/h büyüklüğünde hızla doğu yönünde esen bir fırtınaya yakalanmıştır.



Uçağın fırtına içerisinde kaldığı süre boyunca yere göre hızının büyüklüğü kaç km/h olur?

ÇÖZÜM

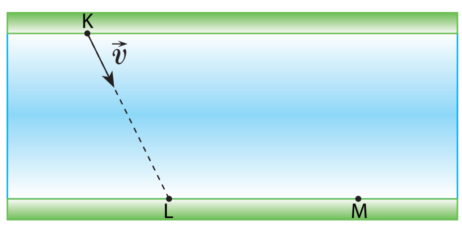
9. K ve L araçlarının konum-zaman grafikleri verilmiştir.



Doğuya doğru hareket eden K aracındaki gözlemciye göre L aracının hızı nedir?

ÇÖZÜM

10. Akıntı hızının sabit olduğu nehirde K noktasından şekildeki gibi $\vec{v}$ hızıyla L noktasına doğru harekete başlayan kayık, M noktasında karşı kıyıya ulaşmaktadır.



Buna göre akıntı hızı daha küçük olsaydı kayığın karşı kıyıya ulaşma süresi ve L noktasına olan uzaklığı nasıl değişirdi?

ÇÖZÜM

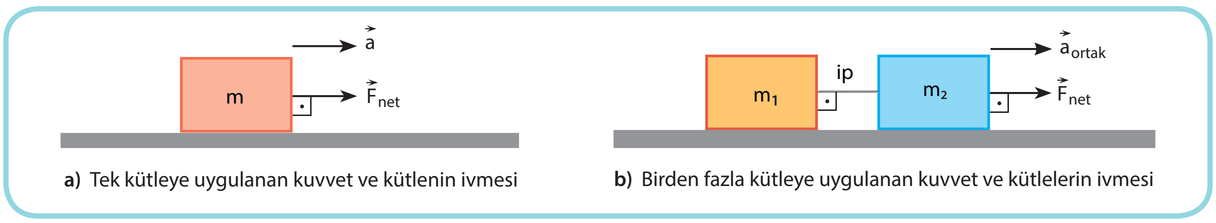
1.3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

Mekaniğin, kuvvet etkisi altında hareket eden cisimlerin hareket özelliklerini inceleyen bölümüne **dinamik** denir. Bu bölümde kuvvet etkisinde gerçekleşen hareketler, Newton'ın Hareket Yasaları kullanılarak açıklanacaktır. Bölüm boyunca ağırlık kuvveti $\vec{G}$, ipte oluşan gerilme kuvveti $\vec{T}$, tepki kuvveti $\vec{N}$ ve sürtünme kuvveti $\vec{F}_S$ sembolleri ile gösterilecektir.

Bir cisme aynı anda birden çok kuvvet etki edebilir. Bu kuvvetlerin etkisinde cismin hareket edip etmeyeceği ve hareket ederse sahip olacağı ivme ile ilgili bilgilere ulaşmak için Newton'ın Hareket Yasaları kullanılır. Newton'ın Birinci Hareket Yasası'na göre bir cisme etkiyen net kuvvet sıfır ise cisim durgunsa durgun kalır, hareketli ise sabit hızla hareketine devam eder. Cismin hızı değişmediği için ivmesi sıfırdır. Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre bir cisme etkiyen net kuvvet sıfırdan farklı ise cisim net kuvvet yönünde ivme kazanır. Cismin kazanacağı ivme, cisme uygulanan kuvvetle doğru orantılı; cismin kütlesi ile ters orantılıdır. Newton'ın Üçüncü Hareket Yasası'na göre bir cisim ikinci cisme dik bir kuvvet uyguladığında, ikinci cisim de birinci cisme eşit büyüklükte ve zıt yönde bir kuvvet uygular.

A) CİSİMLERE ETKİYEN NET KUVVET

Cisimler, birden çok kuvvetin etkisi altında hareket edebilir. Birden fazla kuvvetin yaptığı etkiyi tek başına yapan kuvvete **net kuvvet** denir. Net kuvvet, kuvvetlerin bileşkesi alınarak bulunur ve $\vec{\mathbf{F}}_{\mathbf{net}}$ sembolü ile gösterilir.



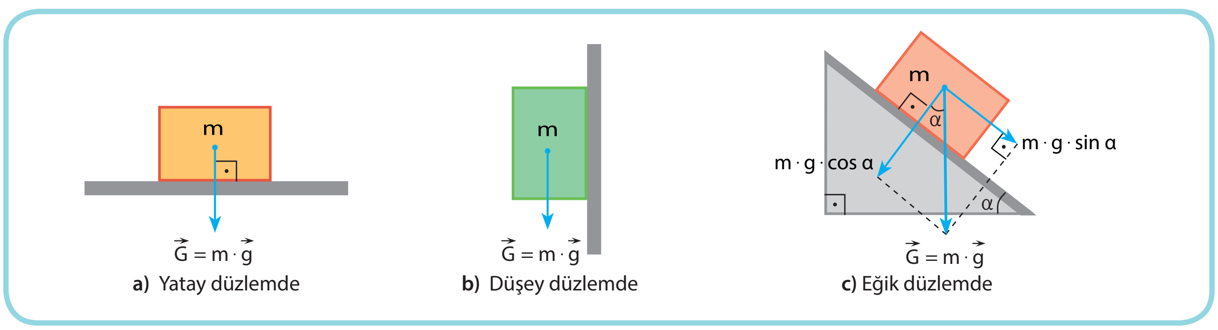
Şekil 1.25: Cisimlere etki eden net kuvvet ve ivmenin yönü

m kütleli cisim $\vec{F}_{net}$ kuvvetinin etkisiyle $\vec{a}$ ivmesini kazanır (Şekil 1.25.a). Buna göre cismin ivmesi

$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$ ifadesi kullanılarak bulunur.

Esnemeyen iplerle birbirine bağlanmış m_1 ve m_2 kütleli cisimler $\vec{F}_{net}$ kuvvetinin etkisiyle $\vec{a}_{ortak}$ ivmesini kazanır (Şekil 1.25.b). Aynı ivmeyle hareket eden birden çok cisim için $\vec{F}_{net} = m_{toplam} \cdot \vec{a}_{ortak}$ ifadesi kullanılır.

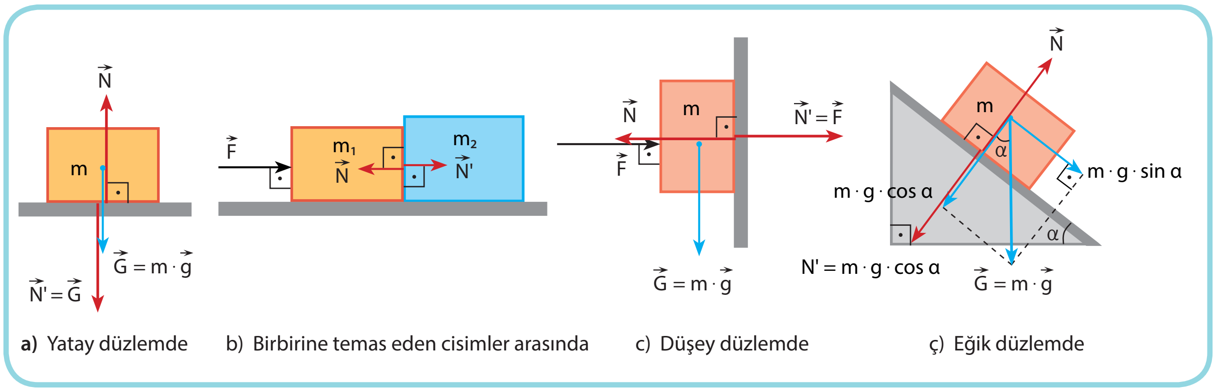
Ağırlık



Şekil 1.26: Farklı yüzeyler üzerinde duran cismin ağırlığının gösterimi

Bir cisme etkiyen kütle çekim kuvvetine **ağırlık** adı verilir ve ağırlığın yönü yerin merkezine doğrudur. Bir cismin ağırlığının yatay, düşey ve eğik düzlemdeki gösterimi Şekil 1.26'daki gibidir. Cisimler, yer çekimi olan ortamlarda her zaman ağırlıklarının etkisindedir.

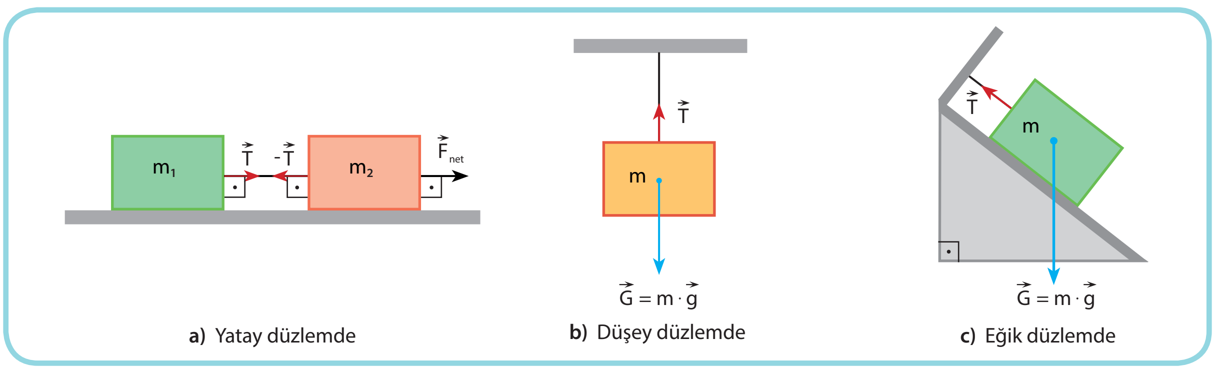
Tepki Kuvveti



Şekil 1.27: Farklı sistemler için cisimlere etki eden tepki kuvvetlerinin gösterimi

Yatay düzlemde duran m kütleli bir cisim, bulunduğu yüzeye ağırlığından dolayı kuvvet uygular. Bu kuvvet, $\vec{N'} = \vec{G}$ olan etki kuvvetidir. Yüzeyin cisme uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}$ ise etki kuvvetine eşit büyüklükte ve zıt yöndedir (Şekil 1.27.a). Yatay düzlemde birbirine temas eden m_1 ve m_2 kütleli cisimlerden m_1'e kuvvet uygulandığında m_1 kütleli cisim, m_2 kütleli cismi iterek $\vec{N'}$ etki kuvveti uygular. m_2 kütleli cisim de m_1 kütleli cisme kendisine uygulanan etki kuvvetine eşit büyüklükte ve zıt yönde $\vec{N}$ tepki kuvveti uygular (Şekil 1.27.b). Düşey düzlemde $\vec{F}$ kuvveti ile dengelenen m kütleli cisim düzleme $\vec{N'} = \vec{F}$ olan etki kuvveti uygular. Cisme düzlem tarafından uygulanan $\vec{N}$ tepki kuvveti, cismin ağırlığından bağımsız olup $\vec{F}$ kuvvetine eşit büyüklükte ve zıt yöndedir (Şekil 1.27.c). Eğik düzlem üzerindeki m kütleli cisim, bulunduğu yüzeye ağırlığından dolayı bir kuvveti uygular. Cismin yüzeye uyguladığı $\vec{N'}$ etki kuvveti, cismin ağırlığının eğik düzleme dik bileşenine eşittir. Yüzeyin cisme uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}$ ise $\vec{N'}$ etki kuvvetine eşit büyüklükte ve zıt yöndedir (Şekil 1.27.ç).

Gerilme Kuvveti



Şekil 1.28: Farklı sistemler üzerinde gerilme kuvvetlerinin gösterimi

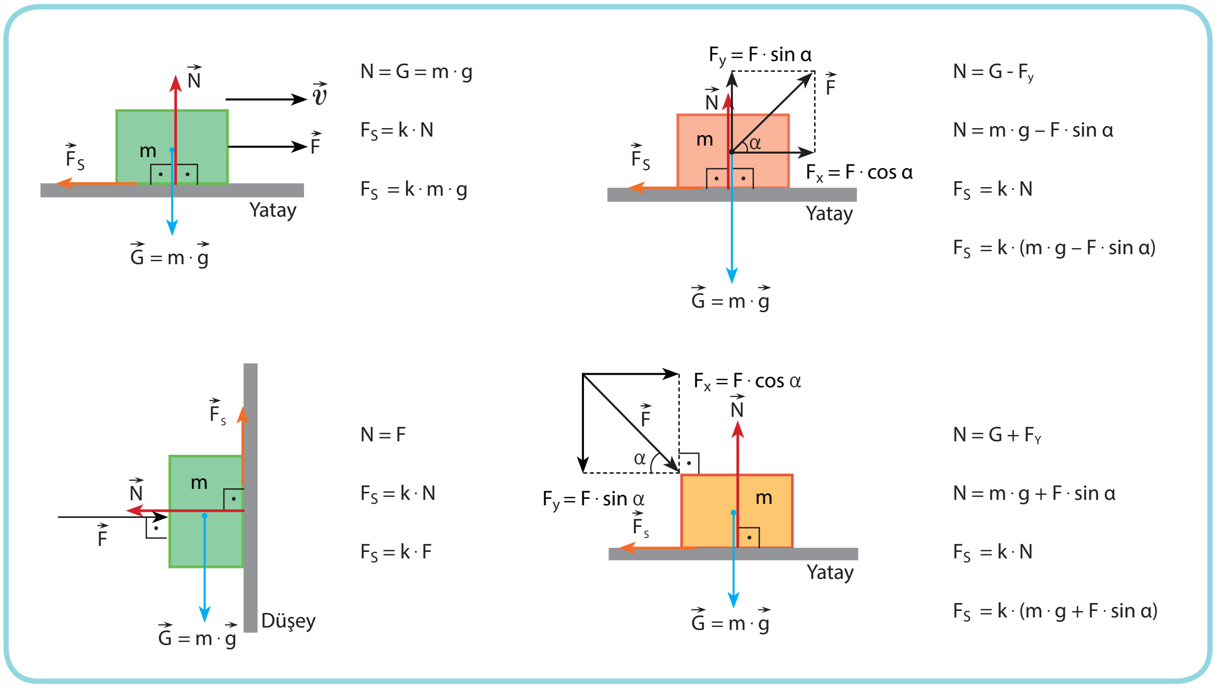
Esnemeyen iplerle bağlı cisimlere kuvvet uygulandığında iplerde gerilme kuvvetleri meydana gelir. Gerilme kuvvetleri cisimlere sadece çekme kuvveti olarak etki eder (Şekil 1.28).

Sürtünme Kuvveti

Sürtünme kuvveti, birbirine temas eden yüzeyler arasında, yüzeylere paralel doğrultuda oluşan ve hareketi zorlaştıran bir kuvvettir ve iki yüzeye de etki eder. Cisim hareket hâlinde iken yüzeyde oluşan sürtünme kuvveti cismin hareket yönüne ters yöndedir.

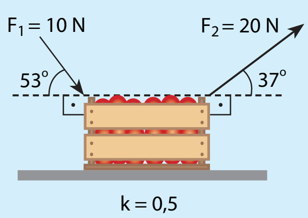
Cisme hareket ettirilmek istenilen yönde uygulanan kuvvet, cismi harekete geçirememişse sürtünme kuvvetiyle dengelenmiştir. Bu durumda hareket ettirilmek istenen doğrultudaki kuvvet ile sürtünme kuvveti eşit büyüklükte olur. Kuvvet arttırıldığında dengeleyici olan sürtünme kuvveti de artar. Cisim harekete geçtiği anda sürtünme kuvveti en büyük değerine ulaşır.

Yüzeyin cinsine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı k ve yüzeyin cisme uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}$ ise sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, $F_s = k \cdot N$ bağıntısıyla bulunur. Yatay ve düşey düzlemde bulunan cisimlere farklı şekilde uygulanan kuvvetler ve etkiyen sürtünme kuvvetleri Şekil 1.29'da gösterilmiştir.



Şekil 1.29: Yatay ve düşey düzlemde sürtünme kuvvetleri

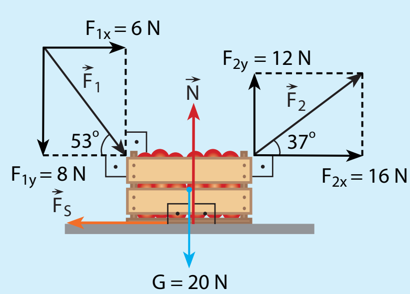
18. ÖRNEK



2 kg kütleli sandık, sürtünmeli yolda şekildeki gibi 10 N büyüklüğündeki $\vec{F}_1$ ve 20 N büyüklüğündeki $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin etkisinde hareket etmektedir. Sandıkla yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir.

Buna göre sandığa etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur? (g = 10 m/s²; cos 37° = 0,8 ve sin 37° = 0,6 alınız.)

ÇÖZÜM



$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri bileşenlerine ayrılır.

$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 53° = 10 \cdot 0,6 = 6$ N

$F_{1y} = F_1 \cdot \sin 53° = 10 \cdot 0,8 = 8$ N

$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 37° = 20 \cdot 0,8 = 16$ N

$F_{2y} = F_2 \cdot \sin 37° = 20 \cdot 0,6 = 12$ N

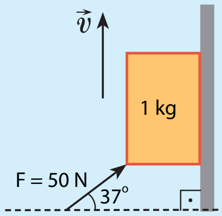
Düşey doğrultuda cisme etkiyen tepki kuvvetinin büyüklüğü

$G + F_{1y} - F_{2y} = N \Longrightarrow 20 + 8 - 12 = N \Longrightarrow N = 16$ N olur.

Sürtünme kuvvetinin büyüklüğü

$F_s = k \cdot N = 0,5 \cdot 16 = 8$ N olur.

19. ÖRNEK



Şekildeki 1 kg kütleli cisim, 50 N büyüklüğünde kuvvetin etkisinde düşey yukarı doğru çıkmaktadır. Düşey düzlem sürtünmeli olup sürtünme katsayısı 0,3'tür.

Buna göre cisme etkiyen sürtünme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?
($g = 10\ m/s^2$; $\cos 37° = 0{,}8$ ve $\sin 37° = 0{,}6$ alınız.)

ÇÖZÜM

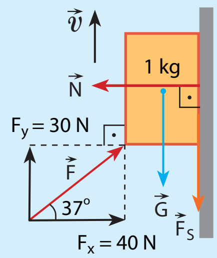
$\vec{F}$ kuvveti F_x ve F_y olarak yatay ve düşey bileşenlerine ayrılır.

$F_x = F \cdot \cos 37° = 50 \cdot 0{,}8 = 40\ N$

$F_y = F \cdot \sin 37° = 50 \cdot 0{,}6 = 30\ N$

Yüzeyin tepki kuvveti ile F_x'in büyüklükleri birbirine eşittir.

$N = F_x = 40\ N$



Sürtünme kuvveti $F_s = k \cdot N$ bağıntısıyla hesaplanır. Cisim yukarı doğru hareket ettiğine göre sürtünme kuvvetinin yönü aşağıya doğrudur.

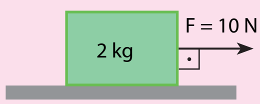
$F_s = k \cdot N = 0{,}3 \cdot 40 = 12\ N$ olur.

18. ALIŞTIRMA

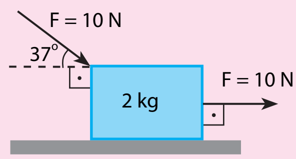
Sürtünmeli yatay ve düşey yüzeylerde bulunan cisimlere şekillerdeki gibi 10 N büyüklüğündeki kuvvetler etki etmektedir. Cisimler ile yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir.

Buna göre cisimlere etki eden sürtünme kuvvetlerinin büyüklükleri kaç N olur?
($g = 10\ m/s^2$; $\cos 37° = 0{,}8$ ve $\sin 37° = 0{,}6$ alınız.)

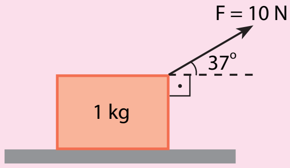
ÇÖZÜM



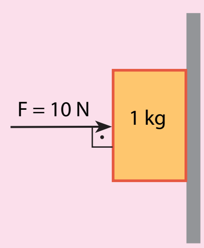
ÇÖZÜM

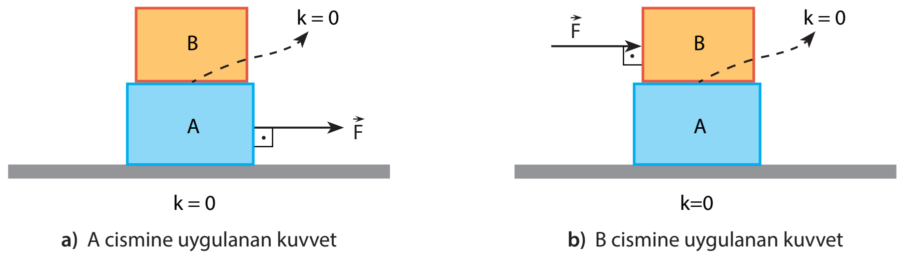


ÇÖZÜM



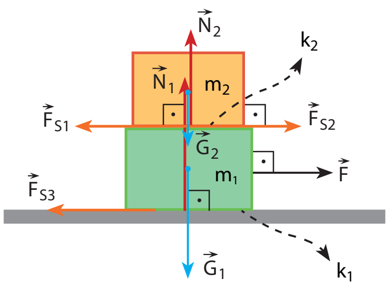
ÇÖZÜM





Şekil 1.30: Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay sistemde üst üste yerleştirilmiş kütlelere uygulanan kuvvetler

Yatay ve sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde üst üste duran A ve B cisimlerinden A cismine yatay doğrultuda $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır. Yatay sistemde sürtünmeler ihmal edildiği için A cismi hareket ederken B cismi hareket etmez ve bir süre sonra yere düşer (Şekil 1.30.a). B cismi yatay $\vec{F}$ kuvveti ile itildiğinde ise A cisminin üzerinden kayarak yere düşer ve A cismi hareket etmez (Şekil 1.30.b). Eğer cisimlerin arası sürtünmeli ise sürtünme kuvveti, kuvvet uygulanmayan cismi hareket ettirebilir. Cisimler, uygulanan kuvvetin büyüklüğüne göre birlikte ya da ayrı ayrı hareket edebilir.



Şekil 1.31: Sürtünmeli yatay sistemde üst üste yerleştirilmiş kütlelere uygulanan kuvvetler

Şekil 1.31'de sürtünme katsayısı k_1 olan sürtünmeli yatay zeminde aralarında sürtünme katsayısı k_2 olan m_1 ve m_2 kütleli cisimler, m_1 kütlesine uygulanan yatay $\vec{F}$ kuvveti ile çekilmektedir. Cisimler birlikte hareket ederken m_1 kütleli cisim ile zemin arasında ve cisimlerin kendi arasında sürtünme kuvveti oluşur. Cisimler arasında oluşan sürtünme kuvveti her iki cisme de etki eder. Cisimler arasında oluşan bu sürtünme kuvvetleri bir etki-tepki kuvvet çiftidir. Kuvvetlerin uygulama noktaları farklı, büyüklükleri eşit ve zıt yönlüdür. Cisimler arasındaki m_1 kütleli cisme etki eden sürtünme kuvveti $\vec{F}_{s1}$ ile m_2 kütleli cisme etki eden sürtünme kuvveti $\vec{F}_{s2}$ eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür. $\vec{F}$ kuvveti m_1 kütleli cisme uygulandığı için m_2 kütleli cismi harekete geçiren kuvvet, $\vec{F}$ ile aynı yönlü olan $\vec{F}_{s2}$ kuvvetidir. $\vec{F}_{s1}$ ise m_1 kütleli cismin hareketini zorlaştıracak şekilde $\vec{F}$ kuvveti ile zıt yönlüdür.

Sürtünme kuvvetlerinin büyüklüğü bulunurken ağırlık ve tepki kuvvetleri sistem üzerinde gösterilir. m_1 kütleli cismin m_2 kütleli cisme uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü (N_2), m_2 kütleli cismin ağırlığının büyüklüğü kadardır. Cisimler arasında oluşan en büyük sürtünme kuvvetlerinin büyüklüğü

$N_2 = G_2 = m_2 \cdot g$ $\quad$ $F_{S1} = F_{S2} = k_2 \cdot N_2$ $\quad$ $F_{S1} = F_{S2} = k_2 \cdot m_2 \cdot g$ olur.

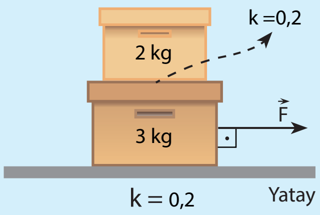
Zeminin cisimlere uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü (N_1), cisimlerin ağırlıklarının büyüklüğünün toplamı kadardır. Zemin ile m_1 kütleli cisim arasında oluşan sürtünme kuvveti $\vec{F}_{s3}$

$N_1 = G_1 + G_2$

$N_1 = m_1 \cdot g + m_2 \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot g$

$F_{S3} = k_1 \cdot N_1 = k_1 \cdot (m_1 + m_2) \cdot g$ olur.

20. ÖRNEK

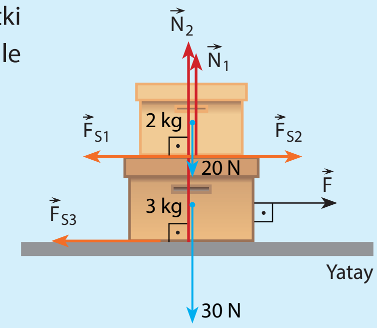


Yatay zeminde 2 kg kütleli m_1 ve 3 kg kütleli m_2 kolileri, yatay F büyüklüğünde kuvvet ile şekildeki gibi çekilmektedir. Tüm yüzeyler sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,2'dir.

Buna göre koliler arasında ve zeminde oluşan sürtünme kuvvetinin en büyük değeri kaç N olur? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

Kolilere etki eden kuvvetler şekildeki gibidir. m_1 kütleli koliye etki eden sürtünme kuvveti $\vec{F}_{S1}$, m_2 kütleli koliye etki eden $\vec{F}_{S2}$ ve zemin ile m_2 kütleli koli arasındaki sürtünme kuvveti $\vec{F}_{S3}$ olsun.



3 kg kütleli kolinin 2 kg kütleli koliye uyguladığı tepki kuvveti ($\vec{N}_1$), 2 kg kütleli kolinin ağırlığı kadardır.

$N_1 = G_1 = m_1 \cdot g = 2 \cdot 10 = 20$ N

$F_{S1} = k_1 \cdot N_1 = 0{,}2 \cdot 20 = 4$ N olur.

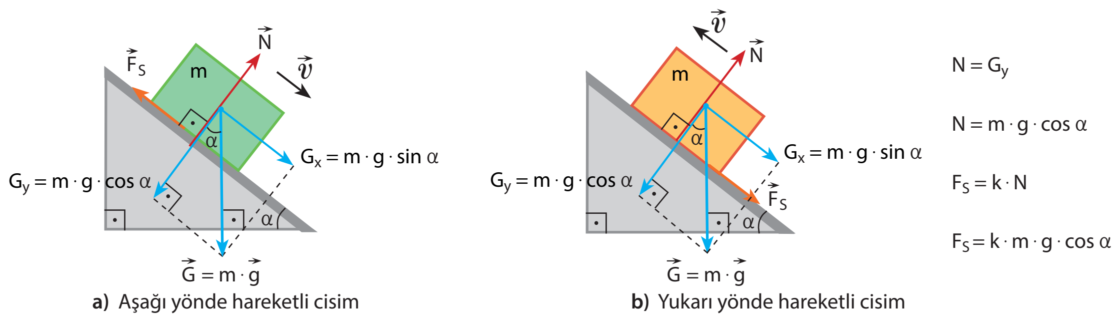
Koliler arasındaki sürtünme kuvveti her iki cisme etki eder. Kolilere etkiyen sürtünme kuvveti eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.

$F_{S1} = F_{S2} = 4$ N

Yatay zeminin kolilere uyguladığı tepki kuvveti (N_2), kolilerin ağırlıklarının toplamı kadardır.

$N_2 = G_1 + G_2 = m_1 \cdot g + m_2 \cdot g = 2 \cdot 10 + 3 \cdot 10 = 50$ N

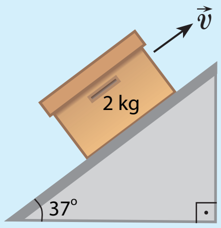
$F_{S3} = k_2 \cdot N_2 = 0{,}2 \cdot 50 = 10$ N olur.



Şekil 1.32: Sürtünmeli eğik düzlem üzerindeki cisimlere uygulanan kuvvetler

Eğik düzlem üzerinde hareket eden cisme etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğü bulunurken cismin ağırlık vektörü, eğik düzleme paralel ve dik olarak bileşenlerine ayrılır. Eğik düzleme dik olan bileşeni, yüzeyin tepki kuvvetine eşittir. Yüzeye paralel bileşeni cismi eğik düzlem üzerinde harekete zorlayan kuvvettir. Bu durumda, cisimler eğik düzlem üzerinde yukarıdan aşağıya doğru hareket ederse eğik düzleme paralel sürtünme kuvveti yukarı yönde oluşur (Şekil 1.32.a). Cisim eğik düzlem üzerinde yüzeye paralel ve yukarı yönde hareket ederse sürtünme kuvveti yüzeye paralel ve aşağı yönde oluşur (Şekil 1.32.b).

21. ÖRNEK



2 kg kütleli koli, şekilde verilen sürtünmeli eğik düzlemin alt ucundan yukarı doğru fırlatılmıştır. Koli ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir.

Buna göre koli ile eğik düzlem arasındaki sürtünme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur? (cos 37° = 0,8; sin 37° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

Kolinin ağırlığı eğik düzlem üzerinde bileşenlerine ayrılır. Kolinin ağırlığı $\vec{G}$, eğik düzleme paralel bileşeni G_x, eğik düzleme dik bileşeni G_y ise

$G = m \cdot g = 2 \cdot 10 = 20$ N

$G_x = G \cdot \sin 37^\circ = 20 \cdot 0{,}6 = 12$ N

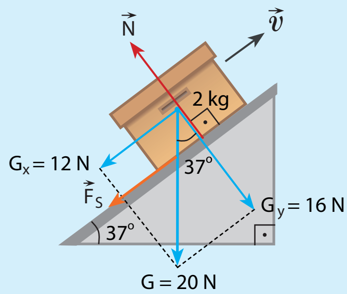
$G_y = G \cdot \cos 37^\circ = 20 \cdot 0{,}8 = 16$ N

$N = G_y = 16$ N

$F_S = k \cdot N$

$F_S = 0{,}5 \cdot 16$

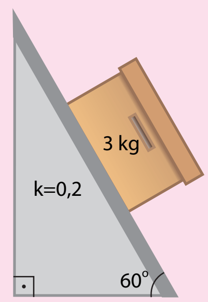
$F_S = 8$ N olur.



19. ALIŞTIRMA

3 kg kütleli koli, şekilde verilen sürtünmeli eğik düzlem üzerinden serbest bırakıldığında eğik düzlem üzerinde aşağıya doğru hareket etmektedir. Koli ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,2'dir.

Buna göre koli ile eğik düzlem arasındaki sürtünme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur? (cos 60° = 0,5 ve g = 10 m/s² alınız.)



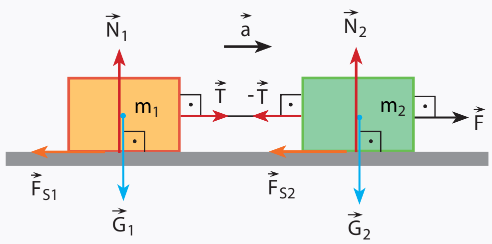
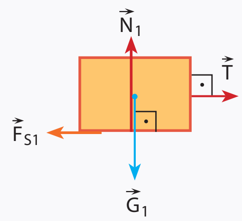
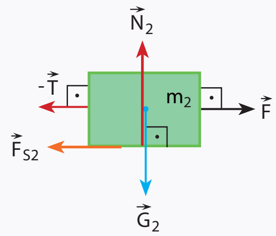
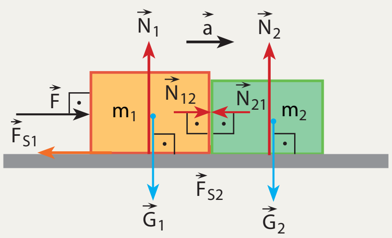
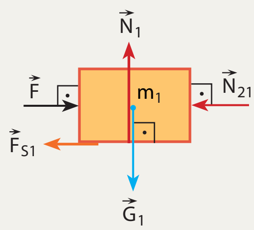
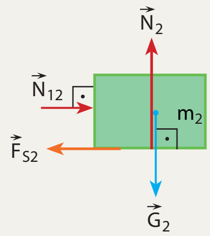
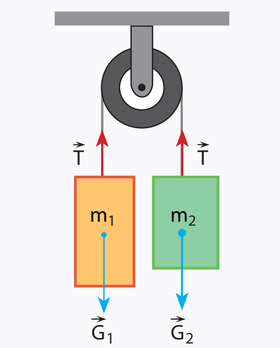
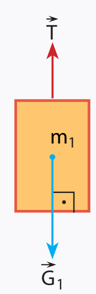
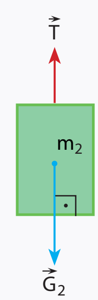
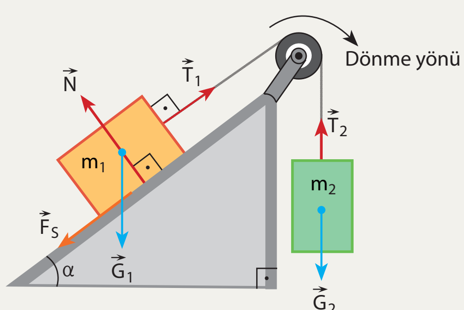
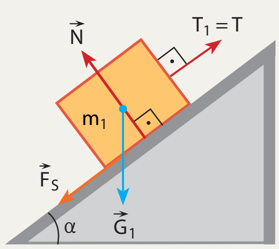
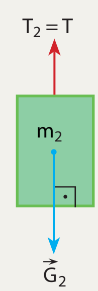
ÇÖZÜM

Serbest Cisim Diyagramı

Newton’ın İkinci Hareket Yasası'na göre cisimler, net kuvvet etkisinde ivme kazanır. Cisimlerin kazanacağı ivme bulunurken cisimlere etki eden tüm kuvvetlerin bileşkesi alınarak net kuvvet bulunur.

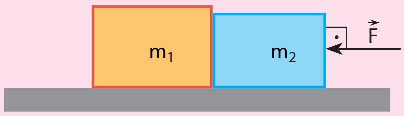
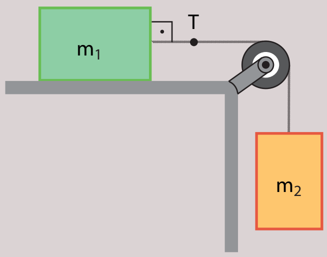
Bir cisme etki eden tüm kuvvetlerin uygulama noktaları, yönleri ve büyüklüklerinin gösterilmesine **serbest cisim diyagramı** adı verilir (Tablo 1.2). Birden fazla kütle kullanılarak oluşturulan sistemlerde bütün kütleler için ayrı ayrı serbest cisim diyagramı çizilerek Newton’ın İkinci Hareket Yasası uygulanabilir.

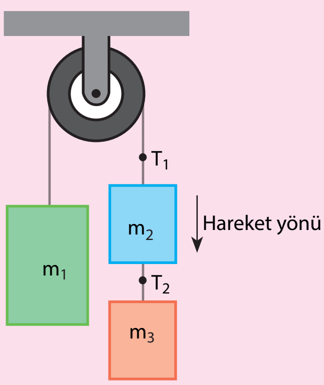
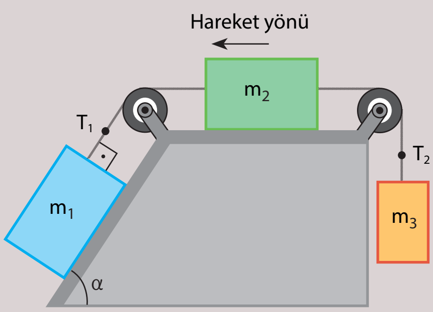
Tablo 1.2: Bazı Sistemlerin Serbest Cisim Diyagramları

Sistemin Serbest Cisim Diyagramı	m_1 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı	m_2 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı
 (Yatay düzlem sürtünmelidir.)		
 (Yatay düzlem sürtünmelidir.)		
 (Sürtünmeler ihmal edilmiştir.)		
 $T_1 = T_2 = T$ olur. (Eğik düzlem sürtünmelidir.)		

20. ALIŞTIRMA

Aşağıda verilen sistem ve cisimlerin serbest cisim diyagramlarını çiziniz.

Sistemin Serbest Cisim Diyagramı	m_1 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı	m_2 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı
 (Yatay düzlem sürtünmelidir.)		
 (Yatay düzlem sürtünmelidir.)		

Sistemin Serbest Cisim Diyagramı	m_1 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı	m_2 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı	m_3 Kütlesinin Serbest Cisim Diyagramı
 (Sürtünmeleri ihmal ediniz.)			
 (Tüm yüzeyler sürtünmelidir.)			

22. ÖRNEK

Yatay düzlemde durmakta olan 3 kg kütleli valize şekildeki gibi 20 N büyüklüğünde $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



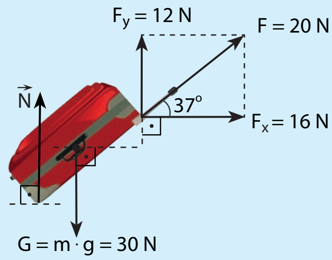
Buna göre

a) Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde valize etki eden net kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

b) Yatay düzlem sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,5 iken valize etki eden net kuvvetin büyüklüğü kaç N olur? (g = 10 m/s²; cos 37° = 0,8 ve sin 37° = 0,6 alınız.)

ÇÖZÜM

a) $\vec{F}$ kuvveti bileşenlerine ayrılarak serbest cisim diyagramı çizilir.



$F_x = F \cdot \cos 37° = 20 \cdot 0,8 = 16$ N

$F_y = F \cdot \sin 37° = 20 \cdot 0,6 = 12$ N

$G = m \cdot g = 3 \cdot 10 = 30$ N

Valizin hareketi doğrultusunda yalnızca $\vec{F}$ kuvvetinin yatay bileşeni vardır. Bu sebeple net kuvvet F_x'e eşit olur.

$F_{net} = F_x = 16$ N

b) Eğer yüzey sürtünmeli ise serbest cisim diyagramı aşağıdaki gibi çizilir. Sürtünme kuvvetinin bulunabilmesi için yüzeyin tepki kuvveti bilinmelidir. Tepki kuvvetini bulabilmek için düşey doğrultudaki kuvvetlere bakılır. $\vec{N}$ ile F_y'nin büyüklükleri toplamı $\vec{G}$ ağırlığının büyüklüğüne eşittir.

$N + F_y = G$

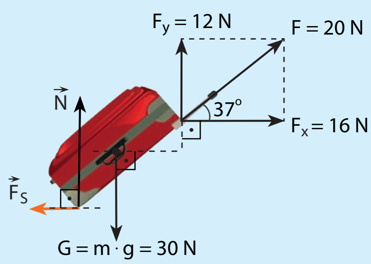
$N = G - F_y = 30 - 12 = 18$ N

$F_S = k \cdot N = 0,5 \cdot 18 = 9$ N

Yatay doğrultudaki F_x ile F_s zıt yönlüdür.

Bu durumda net kuvvet

$F_{net} = F_x - F_s = 16 - 9 = 7$ N olarak bulunur.

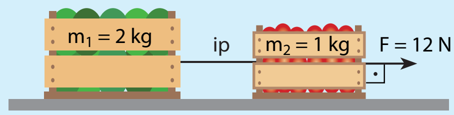


B) NET KUVVET ETKİSİNDEKİ CİSİMLERİN HAREKETİ

Bir sistem, net kuvvet etkisinde ise ivmeli hareket eder. Sisteme etkiyen net kuvvet cisimlerin hareket ettiği yönde ise sistemde hızlanma olur. Sisteme etkiyen net kuvvet cisimlerin hareket ettiği yöne ters ise sistemde yavaşlama olur.

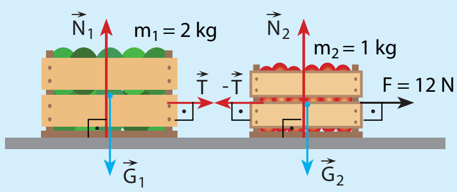
23. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde esnemeyen iple birbirine bağlı 2 kg kütleli ve 1 kg kütleli kasalar, 12 N büyüklüğündeki yatay kuvvetle çekilmektedir.



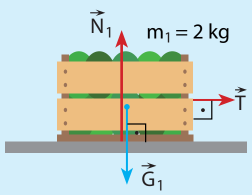
Buna göre her bir kasaya etki eden net kuvvetin ve ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

ÇÖZÜM



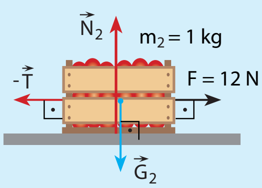
m_1 ve m_1 kütleli kasaların oluşturduğu sistemin serbest cisim diyagramı şekildeki gibidir. Sisteme etki eden net kuvvet $\vec{F}$ kuvvetidir. Kasaların aynı sürede yapacağı yer değiştirmeler eşit olacağından hızları ve ivmeleri de eşit olur. Newton'ın İkinci Hareket Yasası sisteme uygulanırsa

$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a \Longrightarrow 12 = (2 + 1) \cdot a \Longrightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$ olur.



m_1 kütleli kasaya etki eden net kuvvet $\vec{F}_1$, m_2 kütleli kasaya etki eden net kuvvet $\vec{F}_2$ olarak kabul edilirse m_1 kütleli kasanın serbest cisim diyagramı çizildiğinde net kuvvetin ip gerilmesine eşit olduğu görülür. m_1 kütleli kasaya etkiyen net kuvvet

$F_1 = m_1 \cdot a \Longrightarrow F_1 = T = 2 \cdot 4 \Longrightarrow F_1 = T = 8$ N olur.

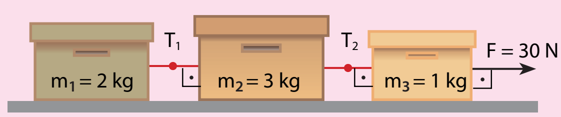


$\vec{T}$ ip gerilme kuvveti m_2 kütleli kasaya etkiyen kuvvetlerle de bulunabilir.

$F_2 = F - T \Longrightarrow m_2 \cdot a = F - T \Longrightarrow 1 \cdot 4 = 12 - T \Longrightarrow T = 8$ N olur.

21. ALIŞTIRMA

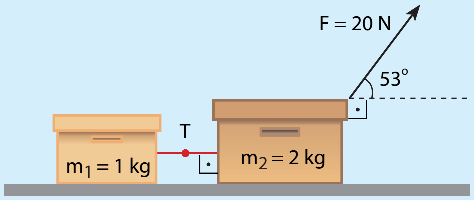
Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlem üzerinde bulunan 2 kg kütleli m_1, 3 kg kütleli m_2 ve 1 kg kütleli m_3 kolileri esnemeyen iplerle birbirine bağlanarak 30 N büyüklüğündeki yatay $\vec{F}$ kuvvetiyle çekilmektedir. m_1 ve m_2 kütleli koliler arasındaki ipte oluşan gerilme kuvveti $\vec{T}_1$, m_2 ve m_3 kütleli koliler arasındaki ipte oluşan gerilme kuvveti $\vec{T}_2$'dir.



Buna göre ip gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

24. ÖRNEK



Sürtünmeli yatay düzlem üzerinde bulunan 1 kg kütleli m_1 ve 2 kg kütleli m_2 kolileri birbirine esnemeyen iple bağlanarak 20 N büyüklüğündeki kuvvetle şekildeki gibi çekilmektedir. Yatay düzlemin m_1 kütleli koliyle arasındaki sürtünme katsayısı 0,1 ve m_2 kütleli koliyle ise 0,5'tir.

Buna göre

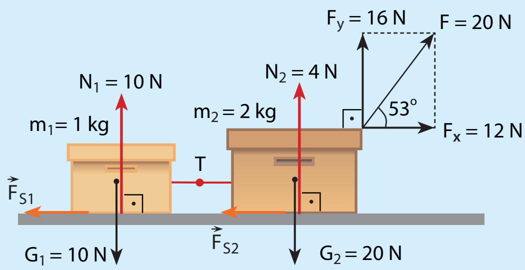
a) Sisteme etki eden net kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

b) Kolilerin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?

c) Koliler arasındaki ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

(g = 10 m/s², cos 53° = 0,6 ve sin 53° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM



a) Sisteme ait serbest cisim diyagramı çizilir. $\vec{F}$ kuvveti F_x ve F_y olarak yatay ve düşey bileşenlerine ayrılır.

$F_x = F \cdot \cos 53^\circ = 20 \cdot 0{,}6 = 12$ N

$F_y = F \cdot \sin 53^\circ = 20 \cdot 0{,}8 = 16$ N

Kolilerin ağırlıkları ve yüzeyin cisimlere uyguladığı tepki kuvvetleri bulunur.

$G_1 = m_1 \cdot g = 1 \cdot 10 = 10 \text{ N} \Longrightarrow N_1 = G_1 = 10$ N

$G_2 = m_2 \cdot g = 2 \cdot 10 = 20 \text{ N} \Longrightarrow N_2 = G_2 - F_y = 20 - 16 = 4$ N

Kolilerle yüzey arasında oluşan sürtünme kuvvetleri bulunur.

$F_{S1} = k_1 \cdot N_2 = 0{,}1 \cdot 10 = 1$ N

$F_{S1} = k_2 \cdot N_2 = 0{,}5 \cdot 4 = 2$ N

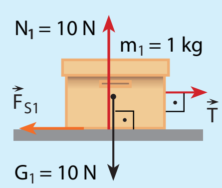
Kolilere hareketleri doğrultusunda etki eden net kuvvet

$F_{net} = F_x - (F_{S1} + F_{S2}) = 12 - (1 + 2) = 9$ N olur.

b) Kolileri birlikte hareket ettiren net kuvvet kullanılarak Newton'ın İkinci Hareket Yasası tüm sisteme uygulanır ve kolilerin ortak ivmesi bulunur.

$F_{net} = m_{toplam} \cdot a \Longrightarrow 9 = (1 + 2) \cdot a \Longrightarrow a = 3 \text{ m/s}^2$ olur.

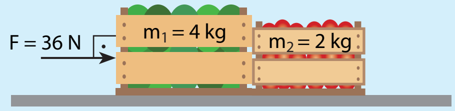
c) İpte oluşan gerilme kuvvetini bulabilmek için kolilerden birinin serbest cisim diyagramı çizilerek Newton'ın İkinci Hareket Yasası sadece bu koliye uygulanır.



$F_{net} = m_1 \cdot a \Longrightarrow T - F_{S1} = m_1 \cdot a \Longrightarrow T - 1 = 1 \cdot 3 \Longrightarrow T = 4$ N olur.

25. ÖRNEK

Şekildeki gibi yerleştirilmiş 4 kg kütleli m_1 ve 2 kg kütleli m_2 kasaları yatay düzlemde, düzleme paralel 36 N büyüklüğündeki kuvvetin etkisinde hareket etmektedir.



Buna göre

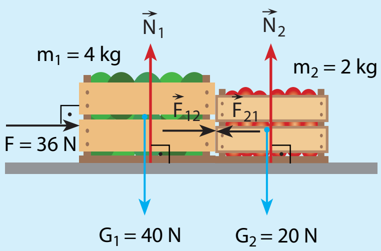
a) **Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde m_2 kütleli kasanın m_1 kütleli kasaya uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?**

b) **Yatay düzlem sürtünmeli ve kasalarla yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,2 ise m_2 kütleli kasanın m_1 kütleli kasaya uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?** (g=10 m/s² alınız.)

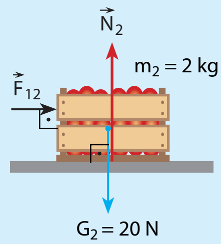
ÇÖZÜM

a) m_1 kütleli kasanın m_2 kütleli kasaya uyguladığı kuvvet (F_{12}) ile m_2 kütleli kasanın m_1 kütleli kasaya uyguladığı kuvvet (F_{21}) eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür. Yatay düzlemde sürtünme ihmal edilmişse kasalara etki eden net kuvvet 36 N'dır. Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre 36 N büyüklüğündeki net kuvvetin etkisinde kasalar ivme kazanır. Kasaların ivmesi

$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a \implies 36 = (4 + 2) \cdot a \implies a = 6$ m/s² olur.



m_2 kütleli kasaya ait serbest cisim diyagramı çizilerek Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulandığında m_2 kütleli kasanın m_1 kütleli kasaya uyguladığı tepki kuvveti bulunur.



$F_{net} = m_2 \cdot a \implies F_{12} = 2 \cdot 6 \implies F_{12} = 12$ N olur.

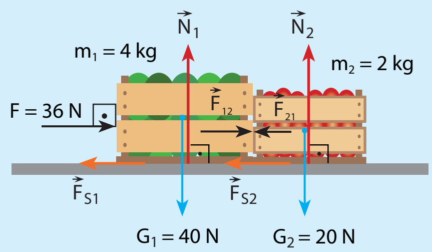
b) Yatay düzlem sürtünmeli ise her iki kasayla yüzey arasında harekete zıt yönde sürtünme kuvveti oluşur. Bu durumda serbest cisim diyagramı şekildeki gibi olur. Sisteme etki eden net kuvvet

$F_{S1} = k \cdot N_1 = 0{,}2 \cdot 40 = 8$ N

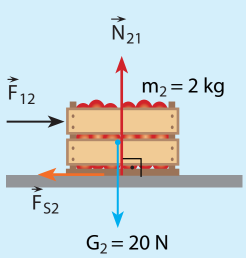
$F_{S2} = k \cdot N_2 = 0{,}2 \cdot 20 = 4$ N

$F_{net} = F - F_{S1} - F_{S2}$

$F_{net} = 36 - 8 - 4 \implies F_{net} = 24$ N olur.



Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre 24 N büyüklüğündeki net kuvvetin etkisinde kasalar ivme kazanır.



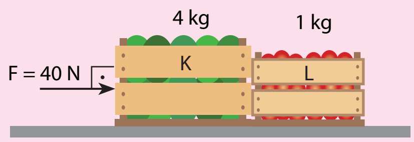
$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a \implies 24 = (4 + 2) \cdot a \implies a = 4$ m/s² olur.

m_2 kütleli kasaya ait serbest cisim diyagramı çizilerek Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulandığında m_2 kütleli kasanın m_1 kütleli kasaya uyguladığı tepki kuvveti bulunur.

$F_{12} - F_{S2} = m_2 \cdot a \implies F_{12} - 4 = 2 \cdot 4 \implies F_{12} = 12$ N olur.

22. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzleme yerleştirilmiş, kütleleri sırasıyla 4 kg ve 1 kg olan K ve L kasaları, düzleme paralel 40 N büyüklüğünde $\vec{F}$ kuvvetinin etkisinde hareket etmektedir.



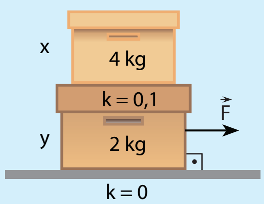
Buna göre

a) K'nin L'ye uyguladığı etki kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

b) L'nin K'ye uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur? ($g=10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

26. ÖRNEK

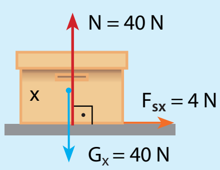


Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemdeki 2 kg kütleli y kolisinin üzerine 4 kg kütleli x kolisi konularak y kolisine düzleme paralel $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır. Sadece x ve y kolileri arasında sürtünme olup sürtünme katsayısı 0,1'dir.

Buna göre x kolisini kaydırmadan y kolisiyle birlikte hareket ettirebilen $\vec{F}$ kuvveti, en fazla kaç N olur? ($g=10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Koliler birlikte hareket ettikleri için her iki kolinin ivmesi aynıdır. x kolisinin serbest cisim diyagramı çizildiğinde, koliyi hareket ettiren net kuvvetin sürtünme kuvveti olduğu görülür. Sürtünme katsayısı ile y kolisinin x kolisine uyguladığı tepki kuvveti çarpılarak sürtünmenin en büyük değeri bulunur. Sürtünme kuvveti, bundan daha büyük bir değer alamaz. x kolisinin kazanacağı en büyük ivme



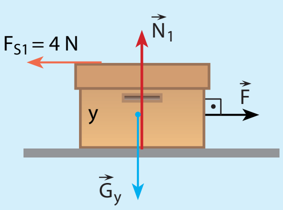
$N_x = G_x = 40\ N$

$F_{sx} = k \cdot N_x = 0{,}1 \cdot 40 = 4\ N$

$F_{net} = m_x \cdot a \implies F_{sx} = m_x \cdot a \implies 4 = 4 \cdot a \implies a = 1\ m/s^2$ olur.

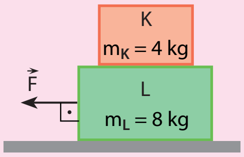
Koliler birlikte hareket ettiği için y kolisinin de ivmesi $1\ m/s^2$ olur. y kolisinin serbest cisim diyagramı çizilir ve Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulanırsa F'nin en büyük değerine ulaşılır.

$F_{net} = m \cdot a \implies F - 4 = m_y \cdot a \implies F - 4 = 2 \cdot 1 \implies F = 6$ N olur.



Eğer kolilere 6 N 'dan daha büyük bir kuvvet uygulanırsa koliler farklı ivme ile hareket eder. Örnekteki $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü arttırılırsa x kolisine etkiyen sürtünme kuvvetinde herhangi bir değişim olmaz. Bu sebeple x kolisinin ivmesi değişmez. y kolisine etkiyen net kuvvet artacağından bu kolinin ivmesi artar.

23. ALIŞTIRMA



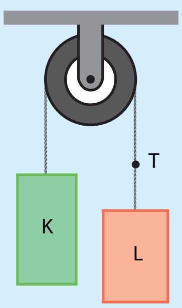
Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemdeki 8 kg kütleli L cisminin üzerine 4 kg kütleli K cismi konulmuş ve L cismine düzleme paralel $\vec{F}$ kuvveti uygulanmıştır. Sadece m_K ve m_L kütleli cisimlerin arası sürtünmeli olup sürtünme katsayısı 0,2'dir.

Buna göre K cismini kaydırmadan L cismiyle birlikte hareket ettirebilen $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü en fazla kaç N olur? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM



27. ÖRNEK

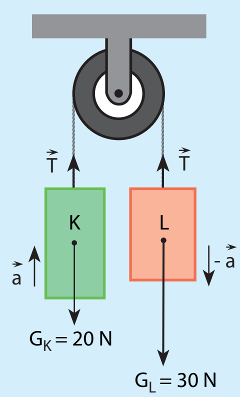


Esnemeyen iple birbirine bağlı K ve L cisimlerinin kütleleri sırasıyla 2 kg ve 3 kg'dır.

Buna göre sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda şekildeki konumlarından serbest bırakılan cisimler hareket ederken ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü T kaç N olur? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

Sisteme ait serbest cisim diyagramı şekildeki gibi çizilir.
L cismi ve K cismi makarayı birbirine ters yönde dönmeye zorlar. L cismi daha ağır olduğu için aşağı yönde, K cismi ise yukarı yönde hareket eder. Bu durumda hareket doğrultusundaki net kuvvet



$F_{net} = G_L - G_K = 30 - 20 = 10$ N olur.

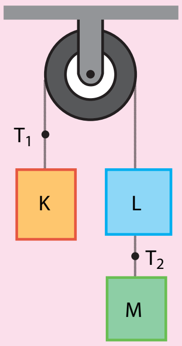
Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre cisimler 10 N büyüklüğündeki net kuvvetin etkisiyle ivme kazanır. Cisimlerin kazanacağı ivme

$F_{net} = (m_K + m_L) \cdot a \Longrightarrow 10 = (3 + 2) \cdot a \Longrightarrow a = 2$ m/s² büyüklüğünde olur.

K cismine etkiyen serbest cisim diyagramı incelendiğinde

$F_{netK} = m_K \cdot a \Longrightarrow T - G_K = m_K \cdot a \Longrightarrow T - 20 = 2 \cdot 2 \Longrightarrow T = 24$ N olur.

24. ALIŞTIRMA

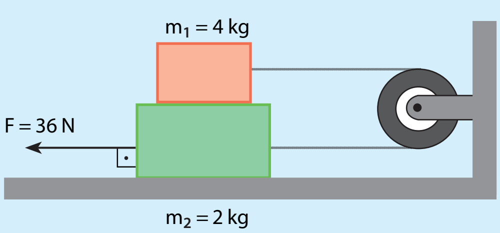


Yeterince uzun esnemeyen iplerle birbirine bağlı K, L ve M cisimlerinin kütleleri sırasıyla 1 kg, 4 kg ve 1 kg'dır. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda cisimler, şekildeki konumlarından serbest bırakılmaktadır.

Buna göre sistem hareket ederken iplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

28. ÖRNEK



Şekildeki sistemde sürtünme sadece m_1 ve m_2 kütleli cisimler arasında olup sürtünme katsayısı 0,3'tür. m_2 kütleli cisme yatay düzleme paralel 36 N büyüklüğünde kuvvet uygulanmaktadır.

Buna göre m_1 kütleli cisim m_2 kütleli cismin üzerinden düşene kadar cisimlerin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?

ÇÖZÜM

Cisimlerin serbest cisim diyagramı şekildeki gibidir. $\vec{F}$ kuvveti cisimleri hareket ettirmek isterken cisimler arasındaki sürtünme kuvvetleri, cisimlerin hareketini zorlaştıracaktır. $\vec{F}$ kuvvetinin etkisiyle 1 yönünde hareket eden m_2 kütlesini cisimler arasındaki sürtünme kuvveti 2 yönüne doğru engeller. m_2 üzerinde bulunan m_1 kütlesi 2 yönüne doğru ip ile çekilerek hareket eder ve sürtünme kuvveti hareket yönüne zıt 1 yönünde olur. Bu nedenle sisteme etkiyen net kuvvet bulunurken sürtünme kuvvetleri harekete zıt yönde alınır.

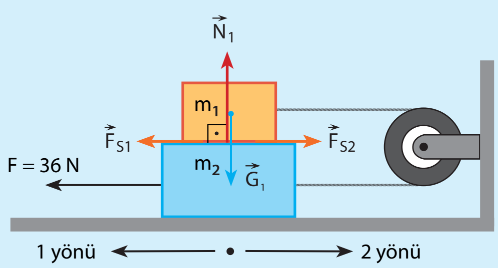
$N_1 = G_1 = m_1 \cdot g = 4 \cdot 10 = 40$ N

$F_{S1} = F_{S2} = k \cdot N_1 = 0{,}3 \cdot 40 = 12$ N

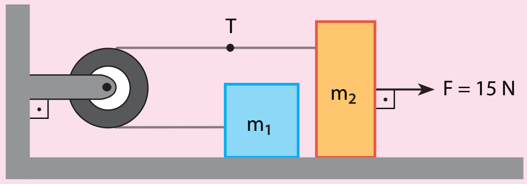
$F_{net} = m_{toplam} \cdot a \implies (F - F_{S1} - F_{S2}) = (m_1 + m_2) \cdot a$

$(36 - 12 - 12) = (4 + 2) \cdot a$

$12 = 6 \cdot a \implies a = 2$ m/s² olur.



25. ALIŞTIRMA

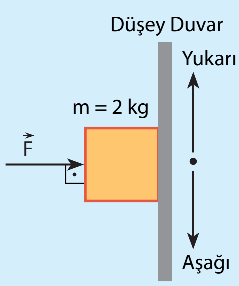


Sürtünmeli yatay düzleme yerleştirilmiş 1 kg kütleli m_1 cismi, 2 kg kütleli m_2 cismi ve makaradan oluşan sistem, yatay doğrultuda 15 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvvetiyle çekilmektedir. Cisimlerle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,2'dir ve makara sürtünmesi ihmal edilmiştir.

Buna göre cisimleri birbirine bağlayan ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü T kaç N olur? ($g = 10$ m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

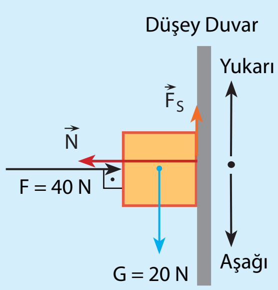
29. ÖRNEK



2 kg kütleli cisme, düşey duvara dik doğrultuda ve 40 N büyüklüğünde $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır. Cisim ile duvar arasındaki sürtünme katsayısı 0,4'tür.

Buna göre cismin ivmesi kaç m/s^2 olur? ($g = 10$ m/s² alınız.)

ÇÖZÜM



Cisme ait serbest cisim diyagramı şekildeki gibi çizilir. Kuvvet eşitlikleri yazılarak tepki ve sürtünme kuvvetleri bulunur.

$F = N = 40$ N

$F_S = k \cdot N = 0{,}4 \cdot 40 = 16$ N olur.

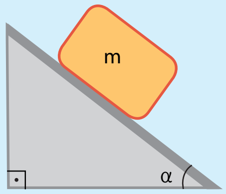
Ağırlık, cismi aşağı yönde hareket ettirmeye zorlarken sürtünme kuvveti hareketi engeller. Bu durumda hareket doğrultusundaki net kuvvet

$F_{net} = G - F_S = 20 - 16 = 4$ N olur.

Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre cisim 4 N büyüklüğünde net kuvvetin etkisiyle ivme kazanır. Kazanacağı ivmenin büyüklüğü

$F_{net} = m \cdot a \implies 4 = 2 \cdot a \implies a = 2$ m/s² aşağı yönde olur.

30. ÖRNEK



Eğim açısı α olan eğik düzlem üzerinde serbest bırakılan m kütleli cisim, aşağı doğru belli bir ivme ile hızlanmaktadır.

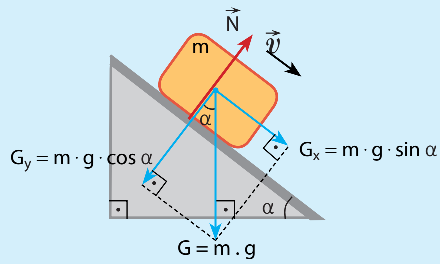
Buna göre

a) **Eğik düzlemin sürtünmesi ihmal edilirse cismin ivmesinin bağlı olduğu değişkenler nelerdir?**

b) **Eğik düzlem sürtünmeli ise cismin ivmesinin bağlı olduğu değişkenler nelerdir?**

ÇÖZÜM

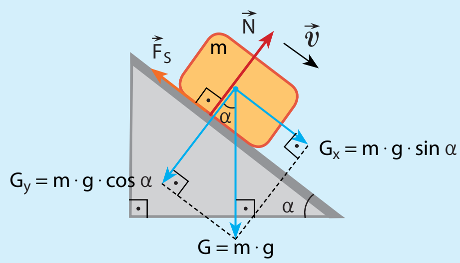
a) Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde eğik düzlem üzerinde serbest bırakılan cisim, aşağı doğru hızlanır. Ağırlığın eğik düzleme paralel G_x bileşeni cismin hareket etmesini sağlar. Cisme etki eden net kuvvet G_x'e eşittir. Cismin ivmesi



$F = m \cdot a \implies G_x = m \cdot a$

$m \cdot g \cdot \sin \alpha = m \cdot a \implies a = g \cdot \sin \alpha$ olur.

b) Eğik düzlem sürtünmeli ve sürtünme katsayısı k ise $G_x > F_s$ olması durumunda cisim yine aşağı doğru hızlanarak hareket edecektir. Bu durumda cismin ivmesi



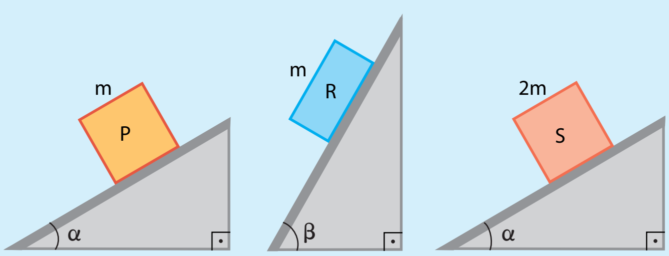
$F = m \cdot a \implies G_x - F_s = m \cdot a \implies G_x - k \cdot N = m \cdot a$

$m \cdot g \cdot \sin \alpha - k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha = m \cdot a$

$a = g \cdot (\sin \alpha - k \cdot \cos \alpha)$ olur.

Cismin ivmesini veren bağıntılar incelendiğinde sürtünmeli ya da sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlem üzerinde hareket eden cismin ivmesinin cismin kütlesine bağlı olmadığı görülür. Eğim açısı artarsa ivme de artar.

31. ÖRNEK



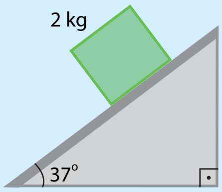
Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemler üzerinde bulunan P, R ve S cisimlerinin kütleleri sırasıyla m, m ve 2m'dir.

$\beta > \alpha$ olduğuna göre cisimler serbest bırakıldığında a_P, a_R ve a_S ivmelerinin büyüklük sıralaması nedir?

ÇÖZÜM

Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlem üzerindeki cisimlerin hareketleri sırasında sahip olacakları ivme, yer çekimi ivmesine ve düzlemin eğim açısına bağlı olarak değişir. Cisimlerin kütlesine bağlı değildir. Eğim açısı büyük olan cismin ivmesi daha büyüktür. İvmelerinin büyüklükleri arasında $a_R > a_P = a_S$ ilişkisi vardır.

32. ÖRNEK



2 kg kütleli cisim eğik düzlem üzerinde serbest bırakılmaktadır.

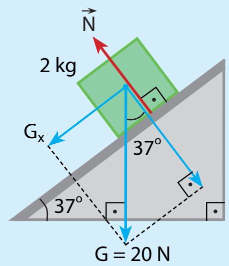
Buna göre

a) Eğik düzlem ile cisim arasındaki sürtünme ihmal edildiğinde cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?

b) Eğik düzlem sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,5 iken cismin ivmesi nedir? ($g = 10\ m/s^2$; $\cos 37° = 0,8$ ve $\sin 37° = 0,6$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) Cismin serbest cisim diyagramı şekildeki gibi çizilir. Ağırlık, bileşenlerine ayrılır. Ağırlığın eğik düzleme dik bileşeninin büyüklüğü yüzeyin tepki kuvvetinin büyüklüğü kadardır. Ağırlığın eğik düzleme paralel bileşeni ise cismi aşağı yönde hareket ettirir.



$G = m \cdot g = 2 \cdot 10 = 20\ N$

$G_X = G \cdot \sin 37° = 20 \cdot 0,6 = 12\ N$

$G_y = G \cdot \cos 37° = 20 \cdot 0,8 = 16\ N$ olur.

Cisim $G_x = 12\ N$ büyüklüğündeki kuvvetin etkisiyle ivme kazanır. Cismin ivmesinin büyüklüğü

$F_{net} = m \cdot a$

$G_X = m \cdot a$

$12 = 2 \cdot a$

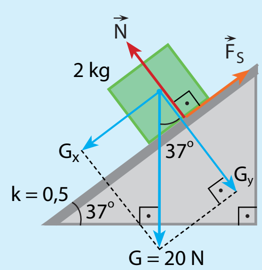
$a = 6\ m/s^2$ olur.

b) Cismin serbest cisim diyagramı şekildeki gibi çizilir. Ağırlık bileşenlerine ayrılır ve sürtünme kuvvetinin büyüklüğü bulunur.

$N = G_y = 16\ N$

$F_S = k \cdot N = 0,5 \cdot 16 = 8\ N$ olur.

$G_X > F_S$ olduğundan cisim eğik düzlem üzerinde aşağı doğru ivmeli hareket yapar. Cismin ivmesinin büyüklüğü



$F_{net} = m \cdot a$

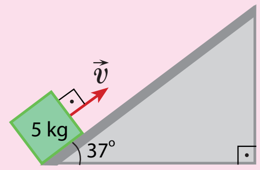
$G_X - F_S = m \cdot a$

$12 - 8 = 2 \cdot a$

$a = 2\ m/s^2$ olur.

26. ALIŞTIRMA

Sürtünmeli eğik düzlemde bulunan 5 kg kütleli cisim ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir. Yeterince uzun eğik düzlemin alt ucundan şekildeki gibi v büyüklüğünde hızla fırlatılan cisim, eğik düzlem üzerinde yukarı yönde hareket ederek durduktan sonra aynı yere dönmektedir.



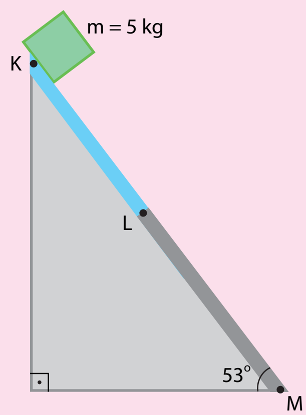
Cisimin çıkıştaki ivmesinin büyüklüğü a_1, inişteki ivmesinin büyüklüğü a_2 olduğuna göre $\frac{a_1}{a_2}$ oranı kaçtır? (g = 10 m/s²; cos 37° = 0,8 ve sin 37° = 0,6 alınız.)

ÇÖZÜM

27. ALIŞTIRMA

5 kg kütleli cisim şekildeki eğik düzlem üzerinde K noktasından serbest bırakılmaktadır. Eğik düzlemin sadece LM noktaları arası sürtünmeli olup sürtünme katsayısı 0,2'dir.

Buna göre cismin KL noktaları arasındaki ivmesinin büyüklüğü a_1, LM noktaları arasındaki ivmesinin büyüklüğü a_2 ise $\frac{a_1}{a_2}$ oranı kaçtır?
(g = 10 m/s²; sin 53° = 0,8 ve cos 53° = 0,6 alınız.)



ÇÖZÜM

33. ÖRNEK

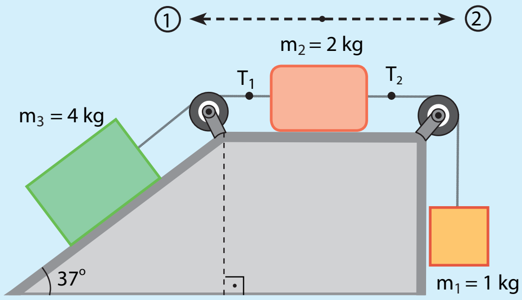
Sürtünmelerin ihmal edildiği şekildeki sistem serbest bırakıldığında kütleleri bağlayan esnemeyen iplerde $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetleri oluşmaktadır.

Buna göre

a) Sisteme etki eden net kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

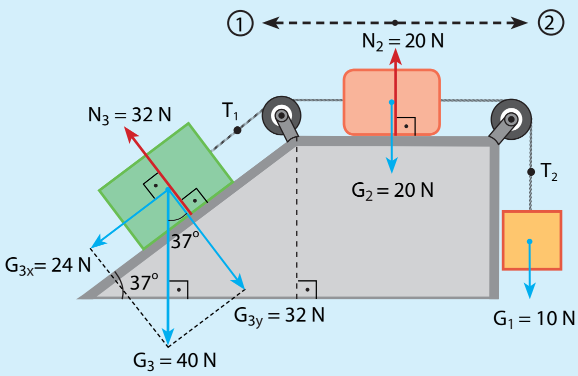
b) Sistemin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?

c) $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ ip gerilme kuvvetlerinin büyüklüğü kaç N olur? (cos 37° = 0,8; sin 37° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)



ÇÖZÜM

a) Eğik düzlem üzerindeki m_3 kütleli cismin ağırlığı bileşenlerine ayrılarak sistemin serbest cisim diyagramı çizilir.



$G_1 = m_1 \cdot g = 1 \cdot 10 = 10$ N

$G_2 = m_2 \cdot g = 2 \cdot 10 = 20$ N

$G_3 = m_3 \cdot g = 4 \cdot 10 = 40$ N

$G_{3x} = G_3 \cdot \sin 37° = 40 \cdot 0{,}6 = 24$ N

$G_{3y} = G_3 \cdot \cos 37° = 40 \cdot 0{,}8 = 32$ N olur.

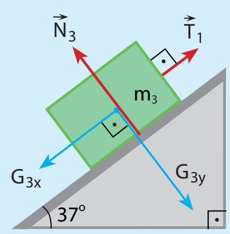
G_{3x} kuvveti, sistemi 1 yönünde; $\vec{G}_1$ kuvveti ise 2 yönünde hareket ettirmeye zorlar. $G_{3x} > G_1$ olduğu için sistem 1 yönünde hareket eder. Bu durumda sisteme etki eden net kuvvet

$F_{net} = G_{3x} - G_1 = 24 - 10 = 14$ N olur.

b) Newton'ın İkinci Hareket Yasası tüm sisteme uygulanarak sistemin ivmesi bulunur.

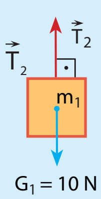
$F_{net} = m_{toplam} \cdot a \implies 14 = (1 + 2 + 4) \cdot a \implies a = 2$ m/s² olur.

c) m_3 kütleli cisme Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulanarak $\vec{T}_1$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü bulunabilir. m_3 kütleli cisim düzlem üzerinde aşağıya doğru hareket ettiğine göre $G_{3x} > T_1$'dir.



$F_{net} = m_3 \cdot a$

$G_{3x} - T_1 = m_3 \cdot a \implies 24 - T_1 = 4 \cdot 2 \implies T_1 = 16$ N olur.

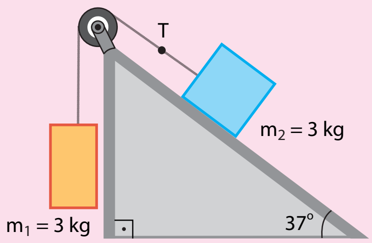


m_1 kütleli cisme Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulanarak gerilme kuvvetinin büyüklüğü bulunabilir. m_1 kütleli cisim yukarı doğru hareket ettiğine göre $T_2 > G_1$'dir.

$F_{net} = m_1 \cdot a$

$T_2 - G_1 = m_1 \cdot a \implies T_2 - 10 = 1 \cdot 2 \implies T_2 = 12$ N olur.

28. ALIŞTIRMA



Şekildeki sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemde 3 kg kütleli cisimler, esnemeyen iple birbirine bağlanıp serbest bırakılmaktadır.

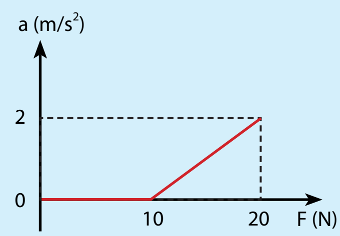
Buna göre cisimlerin hareketi sırasında ipte oluşan $\vec{T}$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?
($g = 10$ m/s², $\cos 37° = 0,8$ ve $\sin 37° = 0,6$ alınız.)

ÇÖZÜM

34. ÖRNEK

Sürtünmeli yatay düzlem üzerinde durmakta olan m kütleli cisme düzleme paralel $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır. Cismin ivmesinin uygulanan kuvvete bağlı değişimi grafikteki gibidir.

Buna göre yüzeyin sürtünme katsayısı kaçtır? (g = 10 m/s² alınız.)



ÇÖZÜM

Grafik incelendiğinde kuvvetin değeri 10 N olana kadar cismin ivmesinin olmadığı, F > 10 N olduğunda ivme kazandığı görülmektedir. O hâlde cisme etki eden sürtünme kuvveti 10 N büyüklüğündedir.

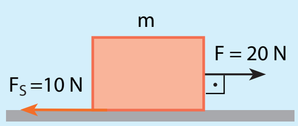
$F_S = k \cdot N = k \cdot m \cdot g = 10$ N olur.

Kuvvetin büyüklüğü 20 N olduğu anda cismin ivmesi 2 m/s² dir. Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulanırsa cismin kütlesi

$F_{net} = m \cdot a$

$20 - 10 = m \cdot 2$

$m = 5$ kg olur.



$F_S = k \cdot N = k \cdot m \cdot g$

$10 = k \cdot 5 \cdot 10$

$k = 0,2$ olur.

29. ALIŞTIRMA



Sabit hızla giden 1 600 kg kütleli otomobil, hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda her 50 metrede 2 metre yükselen eğik düzlem şeklindeki yokuşu çıkmaktadır. Otomobilin lastikleri ile yol arasındaki sürtünme kuvveti otomobilin kaymasını engelleyebilecek büyüklüktedir.

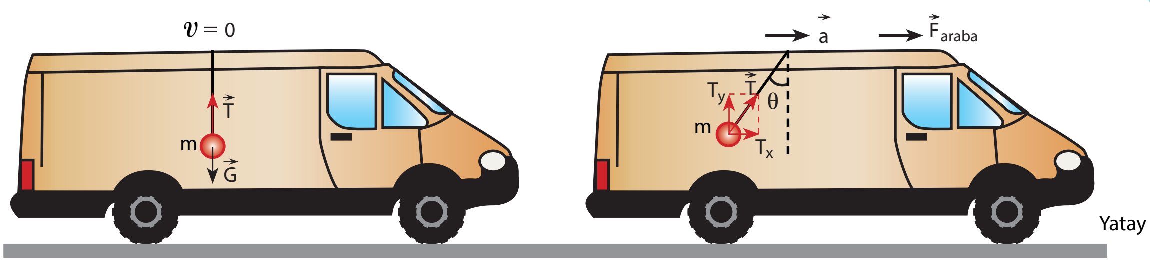
Otomobil yokuşu sabit hızla çıktığına göre motorun otomobile uyguladığı kuvvet kaç N olur? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM



Görsel 1.5: Otobüs tutacağı

Toplu taşıma araçlarında ayakta yolculuk yapan insanlar herhangi bir yere tutunmadıklarında düşme tehlikesiyle karşı karşıya kalır. Bu tür araçlarda yolcuların tutunmalarını sağlayarak güvenliğini arttırmak amacıyla tutacaklar bulunur (Görsel 1.5). Otobüs durgunken veya sabit hızla hareket hâlindeyken tutacaklar, düşey düzlemde durur. Otobüs fren yaptığında ya da hızlandığında ivme kazanır. Bu durumda tutacaklar, düşey doğrultudaki konumunu kaybederek öne ya da geriye doğru savrulur ve doğrultularını değiştirir. Bunun gibi ivmeli sistemlerin içinde bulunan cisimlerin hareketleri Newton'ın Hareket Yasaları'ndan birincisi olan Eylemsizlik Yasası ile açıklanabilir. Bu yasaya göre bir cisme etkiyen net kuvvetin sıfır olması durumunda cisim durgun ise durmaya devam eder. Hareketli ise sabit hızla hareketini sürdürür. Her iki durumda da cisim dengededir. Dengede olan bir cisme net kuvvet uygulanarak dengesi bozulursa cisim eski durumunu korumak için farklı yönlerde hareket edebilir.



a) Durgun araçta **b)** Hızlanan araçta

Şekil 1.33: Bir aracın tavanına asılı duran cisim

m kütleli bir cisim, esnemeyen ip ile durgun aracın tavanına asıldığında düşey doğrultuda dengede kalır (Şekil 1.33.a). İpteki gerilme kuvveti ile cismin ağırlığı eşit büyüklüktedir. $\vec{T}_{ip} = -\vec{G}$ olur.

Araç $\vec{a}$ ivmesiyle hızlandığında eylemsizliğini koruyan cismin bağlı olduğu ipin doğrultusu değişir ve ilk denge konumuna göre düşey düzlemle θ kadar açı yapar. Cisim, araçla aynı ivmeye sahip olduğu için cisme etkiyen net kuvvet araca etkiyen net kuvvetle aynı yönde olur. Bu kuvveti, denge konumundan ayrılan cismin bağlı olduğu ipin gerginliğinin yatay bileşeni sağlar. Bu nedenle cisim denge konumundan ayrılır (Şekil 1.33.b).

Bu değişiklik cismin ivmesi ile aracın ivmesi eşit olana kadar sürer. İvmeler eşitlendiğinde cismin düşeyle yaptığı θ açısı sabit kalır.

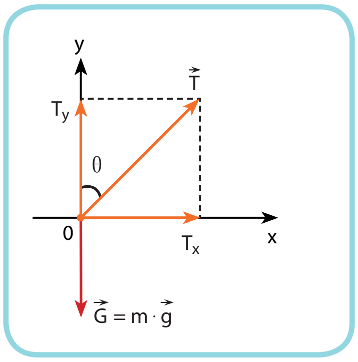
Yerden bakan bir gözlemciye göre cisme ait serbest cisim diyagramı çizilerek Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulanır (Şekil 1.34). Buna göre düşey düzlemde

$T_y = m \cdot g \Longrightarrow T \cdot \cos\theta = m \cdot g$ olur.

Yatay düzlemde de cisim T_x kuvvetinin etkisinde kalır. Bu kuvvet aracın ivmeli hareketinin sonucunda oluştuğu için kuvveti oluşturan ivme aracın ivmesidir.

Yatay düzlemde $T_x = m \cdot a \Longrightarrow T \cdot \sin\theta = m \cdot a$ olur. Elde edilen iki eşitlik oranlanırsa

$\frac{T \cdot \sin\theta}{T \cdot \cos\theta} = \frac{m \cdot a}{m \cdot g} \Longrightarrow \tan\theta = \frac{a}{g}$ bulunur.



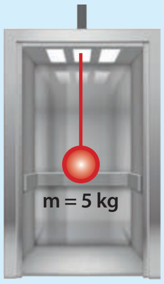
Şekil 1.34: Hızlanan aracın tavanına asılı cismin serbest cisim diyagramı

Bu ifadeye göre cismin düşey doğrultuyla yaptığı açı çekim ivmesine ve aracın ivmesine bağlı, cismin kütlesine bağlı değildir.

Asansör içerisindeki cisimlere etki eden kuvvetler de araç içindeki cisimlere eti eden kuvvetler gibi Eylemsizlik Yasası ile açıklanır. Asansör içindeki cisim, asansörle aynı ivmeye sahip olduğundan cisme etki eden net kuvvet asansöre etkiyen net kuvvetle aynı yönde olur.

35. ÖRNEK

Bir asansör kabininin tavanına 5 kg kütleli cisim asılmıştır.



Buna göre

a) **Asansör kabini durgunken ipteki gerilme kuvveti $\vec{T}_1$ kaç N olur?**

b) **Asansör kabini 2 m/s² ivme ile durgun hâlden yukarı doğru harekete başladığında ipteki gerilme kuvveti $\vec{T}_2$ kaç N olur?**

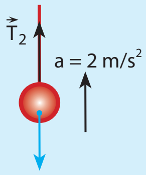
c) **Asansör kabini 2 m/s² ivme ile durgun hâlden aşağı doğru harekete başladığında ipte oluşan gerilme kuvveti $\vec{T}_3$ kaç N olur?** (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

a) Asansör durgunken cismin ağırlığı ile ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklükleri birbirine eşittir.

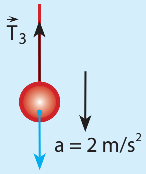
$T_1 = G = m \cdot g = 5 \cdot 10 = 50$ N olur.

b) Yukarıya doğru hızlanan asansöre etkiyen net kuvvet yukarıya doğru olduğu için asansör içindeki cisme etkiyen net kuvvetin de yukarı yönde olması gerekir. Bu nedenle kütlenin bağlı olduğu ipin gerginliği cismin ağırlığından daha büyük olur. Yere göre asansörün yukarı doğru 2 m/s² ivmesi, aynı zamanda cismin de ivmesidir. Bu durumda cisme yukarı yönde bir net kuvvet etki eder.



$F_{net} = T_2 - G = m \cdot a \Longrightarrow T_2 - 50 = 5 \cdot 2 \Longrightarrow T_2 = 60$ N olur.

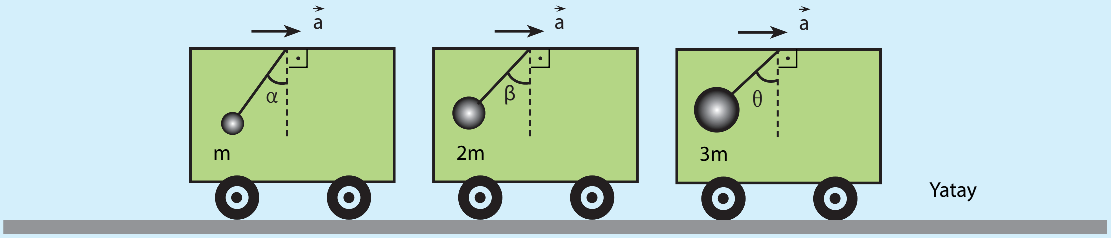
c) Aşağıya doğru hızlanan asansöre etkiyen net kuvvet aşağıya doğru olduğu için asansör içindeki cisme etkiyen net kuvvetin de aşağı yönde olması gerekir. Bu nedenle kütlenin bağlı olduğu ipin gerginliği cismin ağırlığından daha küçük olur. Yere göre asansörün aşağı doğru 2 m/s² ivmesi, aynı zamanda cismin de ivmesidir. Bu durumda cisme aşağı yönde bir net kuvvet etki eder.



$F_{net} = G - T_3 = m \cdot a \Longrightarrow 50 - T_3 = 5 \cdot 2 \Longrightarrow T_3 = 40$ N olur.

36. ÖRNEK

$\vec{a}$ ivmesiyle hızlanan vagonların tavanlarına asılı m, 2m ve 3m kütleli cisimler düşey doğrultu ile α, β ve θ açıları yaparak dengede kalmaktadır.



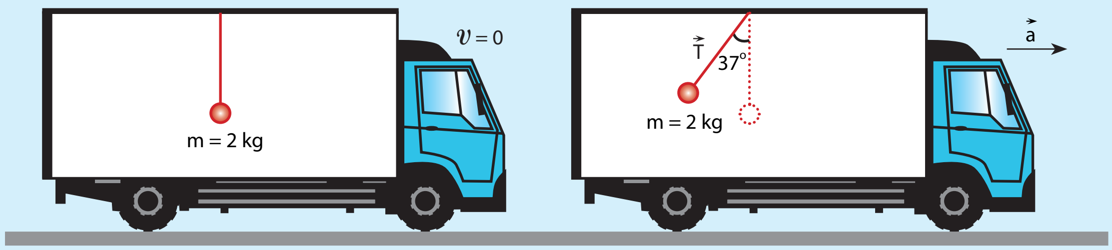
Buna göre α, β ve θ açılarının büyüklük sıralaması nedir?

ÇÖZÜM

İvmeli sistemlerde bulunan cisimlerin düşeyle yaptığı açı, kütlelerine bağlı değil vagonların ivmelerine ve çekim ivmesine bağlıdır. Vagonların ivmeleri eşit olduğu için açılar da α = β = θ olur.

37. ÖRNEK

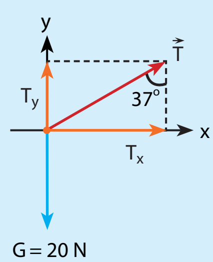
Şekil I'deki gibi durmakta olan aracın tavanına 2 kg kütleli cisim asılmıştır. Araç, Şekil II'deki gibi ok yönünde $\vec{a}$ ivmesiyle harekete başladığında cisim düşeyle 37° lik açı yapacak şekilde tekrar dengelendiğinde ipteki gerilme kuvveti $\vec{T}$ olmaktadır.



Şekil I   Şekil II

Buna göre aracın ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur? (g = 10 m/s²; cos 37° = 0,8 ve sin 37° = 0,6 alınız.)

ÇÖZÜM



Cisme etkiyen net kuvvet araçla aynı yönde olmalıdır ve bu kuvveti ip gerginliğinin yatay bileşeni sağlar. Araç hareket hâlinde iken cismin serbest cisim diyagramı çizilerek cisme etki eden net kuvvet bulunur.

$G = m \cdot g = 2 \cdot 10 = 20$ N

Cisim düşey doğrultuda hareket etmediği için düşeyde cisme etki eden net kuvvet sıfır olmalıdır. O hâlde

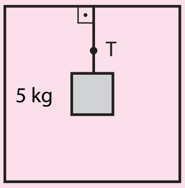
$G = T_y \implies 20 = T \cdot \cos 37° = T \cdot 0{,}8 \implies T = 25$ N olur.

Yatay doğrultuda cisme etki eden net kuvvet T_x'e eşittir. Net kuvvet bulunarak Newton'ın İkinci Hareket Yasası uygulanır ve cismin ivmesi bulunur.

$T_x = T \cdot \sin 37° = 25 \cdot 0{,}6 = 15$ N $F_{net} = m \cdot a \implies T_x = m \cdot a \implies 15 = 2 \cdot a \implies a = 7{,}5$ m/s² olur.

30. ALIŞTIRMA

Bir asansör, tavanına esnemeyen iple bağlı 5 kg kütleli cisimle birlikte yukarı doğru sabit hızla çıkarken 2 m/s² lik ivme ile yavaşlamaya başlamıştır.

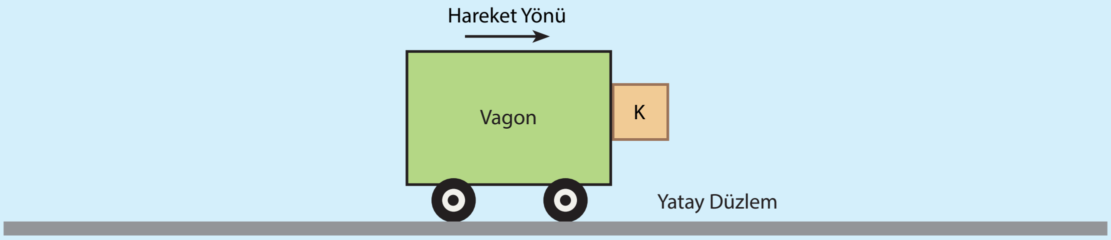


Buna göre asansör yavaşlamaya başlamadan önce ipte var olan $\vec{T}_1$ gerilme kuvvetinin büyüklüğünün yavaşlama sırasında oluşan $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetinin büyüklüğüne oranı kaçtır? (g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

38. ÖRNEK

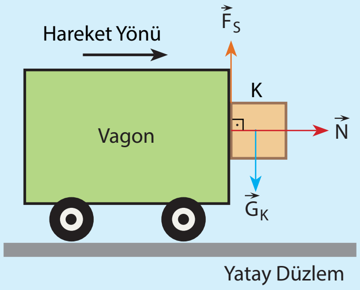
Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde şekildeki hareket yönünde hızlanan vagonun önündeki K cismi, kaymadan vagonla birlikte hareket etmektedir.



Cisim ile vagon arasındaki sürtünme katsayısı k olduğuna göre vagonun hızlanma ivmesini veren ifade nedir?

ÇÖZÜM

Yerden bakan bir gözlemciye göre cisim, vagon ile aynı ivmeyi kazanır. Cisme etkiyen net kuvvet, vagona etkiyen net kuvvet ile aynı yönde olmalıdır. Düşey düzlemde bu kuvveti cisim ile yüzey arasındaki tepki kuvveti oluşturur. K cisminin serbest cisim diyagramı çizildiğinde yatay doğrultuda vagonun cisme uyguladığı tepki kuvveti ($\vec{N}$), cisme vagonla aynı ivmeyi kazandırır. Cismin aşağı doğru kaymaması için sürtünme kuvvetinin cismin ağırlığına eşit büyüklükte olması gerekir.



Düşey doğrultuda

$G_K = F_S = k \cdot N \Longrightarrow m_K \cdot g = k \cdot N$

$N = \dfrac{m_K \cdot g}{k}$ olur.

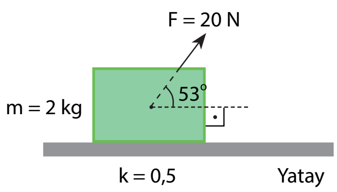
Yatay doğrultuda

$F_{net} = m_K \cdot a \Longrightarrow N = m_K \cdot a$

$\dfrac{m_K \cdot g}{k} = m_K \cdot a \Longrightarrow a = \dfrac{g}{k}$ olur.

3. BÖLÜM SONU SORULARI

1. Sürtünme katsayısının 0,5 olduğu yatay düzlemde durmakta olan 2 kg kütleli cisme 20 N büyüklüğündeki kuvvet şekildeki gibi uygulanmaktadır.



Buna göre cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur? (g = 10 N/kg; sin 53° = 0,8 ve cos 53° = 0,6 alınız.)

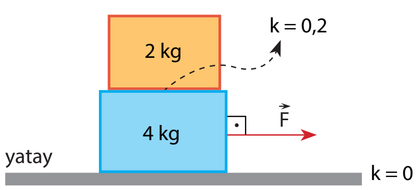
ÇÖZÜM

2. Yatay doğrusal bir yolda 20 m/s büyüklüğünde sabit hızla hareket eden aracın sürücüsü, trafik lambalarına yaklaşırken kırmızı ışığın yandığını görünce frene basarak aracını düzgün yavaşlatıp 4 saniyede durdurmaktadır.

Buna göre toplam kütlesi 1 000 kg olan aracın durmasını sağlayan kuvvet kaç N olur?

ÇÖZÜM

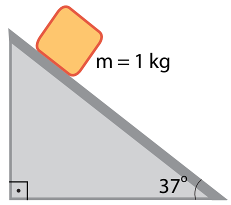
3. Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde 4 kg ve 2 kg kütleli cisimler şekildeki gibi üst üste konularak 4 kg kütleli cisme yatay bir $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



Cisimler arasında sürtünme katsayısı 0,2 olduğuna göre kütleleri birlikte hareket ettirecek kuvvetin en büyük değeri kaç N olur?
(g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

4. Yatayla 37° lik açı yapan eğik düzlemin üzerindeki 1 kg kütleli cisim şekildeki gibi serbest bırakılmaktadır.



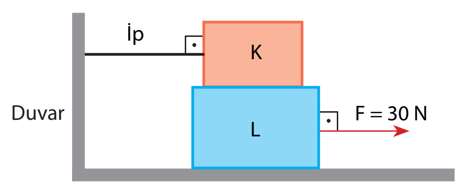
Buna göre

a) **Eğik düzlemde sürtünmeler ihmal edilmiş ise cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?**

b) **Eğik düzlem sabit sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,5 ise cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?** (sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

5. Esnemeyen iple duvara bağlanan 2 kg kütleli K cismi ile 4 kg kütleli L cismi şekildeki gibi üst üste konulmuştur. Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemdeki L cismi, 30 N büyüklüğündeki yatay kuvvetle çekilmektedir.



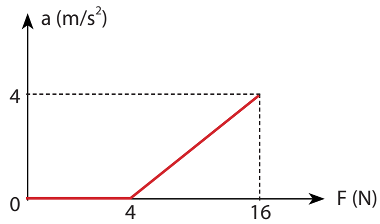
Sürtünme sadece K ve L cisimleri arasında ve sürtünme katsayısı sabit 0,5 olduğuna göre

a) **K cisminin bağlı olduğu ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü T kaç N olur?**

b) **K cismi L'nin üzerinden düşene kadar geçen sürede L cisminin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?** (g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

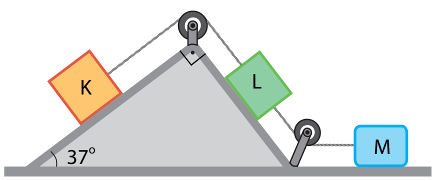
6. Yatay ve sürtünmeli bir düzlem üzerindeki cisme, yatay doğrultuda uygulanan kuvvet ile cismin kazandığı ivmeye bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre cismin kütlesi kaç kg olur?

ÇÖZÜM

7. Kütleleri sırasıyla 5 kg, 2 kg ve 3 kg olan K, L ve M cisimleri esnemeyen iplerle birbirine bağlanarak şekildeki sistem kurulmuştur. Sadece yatay düzlem sabit sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,3'tür.



Buna göre

a) **Sistem serbest bırakıldığında cisimlerin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?**

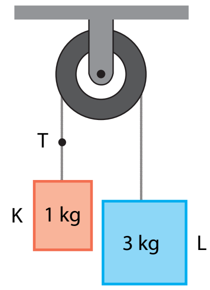
b) **K cisminin bağlı olduğu ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?**

c) **M cisminin bağlı olduğu ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?**

(g = 10 N/kg; sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

8. 1 kg kütleli K cismi, 3 kg kütleli L cismi, makara ve esnemeyen ipler yardımıyla kurulan şekildeki sistemde makara ağırlığı ve sürtünmeler ihmal edilmiştir.



Buna göre sistem serbest bırakıldığında

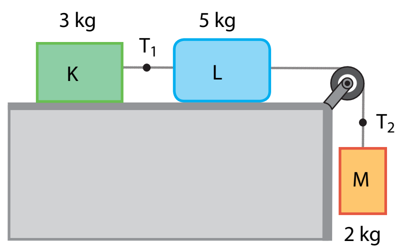
a) **Cisimlerin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?**

b) **$\vec{T}$ ip gerilmesinin büyüklüğü kaç N olur?**

(g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

9. Kütleleri sırasıyla 3 kg, 5 kg ve 2 kg olan K, L ve M cisimleri şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlem üzerinde esnemeyen iplerle birbirine bağlanmıştır.



Buna göre

a) **Cisimler serbest bırakıldığında cisimlerin ortak ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?**

b) **$\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilmelerinin büyüklüğü kaç N olur?**

(g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

1.4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

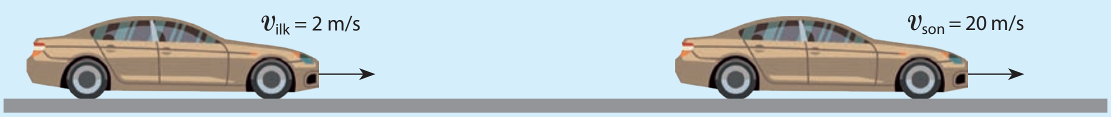
Fiziğin alt dallarından biri olan mekanik, kuvvet etkisindeki cisimlerin durumlarını statik, dinamik ve kinematik olmak üzere üç bölümde inceleyebilir. Dengede olan cisimleri statik, kuvvet etkisinde hareket eden cisimleri dinamik inceler. Kinematik ise kuvvet etkisi dikkate alınmadan sadece cisimlerin hareketini inceler.

Bir cismin, seçilen bir referans noktasına göre zamanla konum değiştirmesi olayına **hareket** denir. Cisimler; düz bir yolda giden araba gibi öteleme, Dünya'nın kendi ekseni etrafında yaptığı gibi dönme veya hem öteleme hem de dönme hareketi yapabilir. Bu hareketlerden en kolay inceleneni, düz bir çizgi üzerinde ve bir boyutta gerçekleşen doğrusal harekettir. Hareket eden cisimlerin hızı her zaman sabit olmayıp değişim gösterebilir. Net kuvvet cisme ivme kazandırır, cisim bu ivmenin etkisiyle hızlanır ya da yavaşlar. İvme ne kadar büyükse cismin eşit zamanlardaki hız değişimi de o kadar büyük olur. Birim zamandaki hız değişimine **ivme** denir. İvme vektörel bir büyüklüktür ve ivmenin SI'da birimi **m/s²** dir.

$\vec{a} = \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ile ifade edilir.

39. ÖRNEK

2 m/s büyüklüğünde ilk hızla hareket eden bir otomobil, düzgün hızlanarak hızının büyüklüğünü 6 s sonra 20 m/s'ye çıkarmaktadır.



Buna göre otomobilin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?

ÇÖZÜM

$\vec{a} = \dfrac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \dfrac{\vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk}}{t_{son} - t_{ilk}}$ olduğundan ivmenin büyüklüğü

$a = \dfrac{20 - 2}{6} = \dfrac{18}{6} = 3\,m/s^2$ olur.

31. ALIŞTIRMA

İlk hızının büyüklüğü v olan bir araç 2 m/s² ivme ile hızlanarak 5 s sonra 25 m/s hıza ulaşmaktadır.



Buna göre arabanın ilk hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

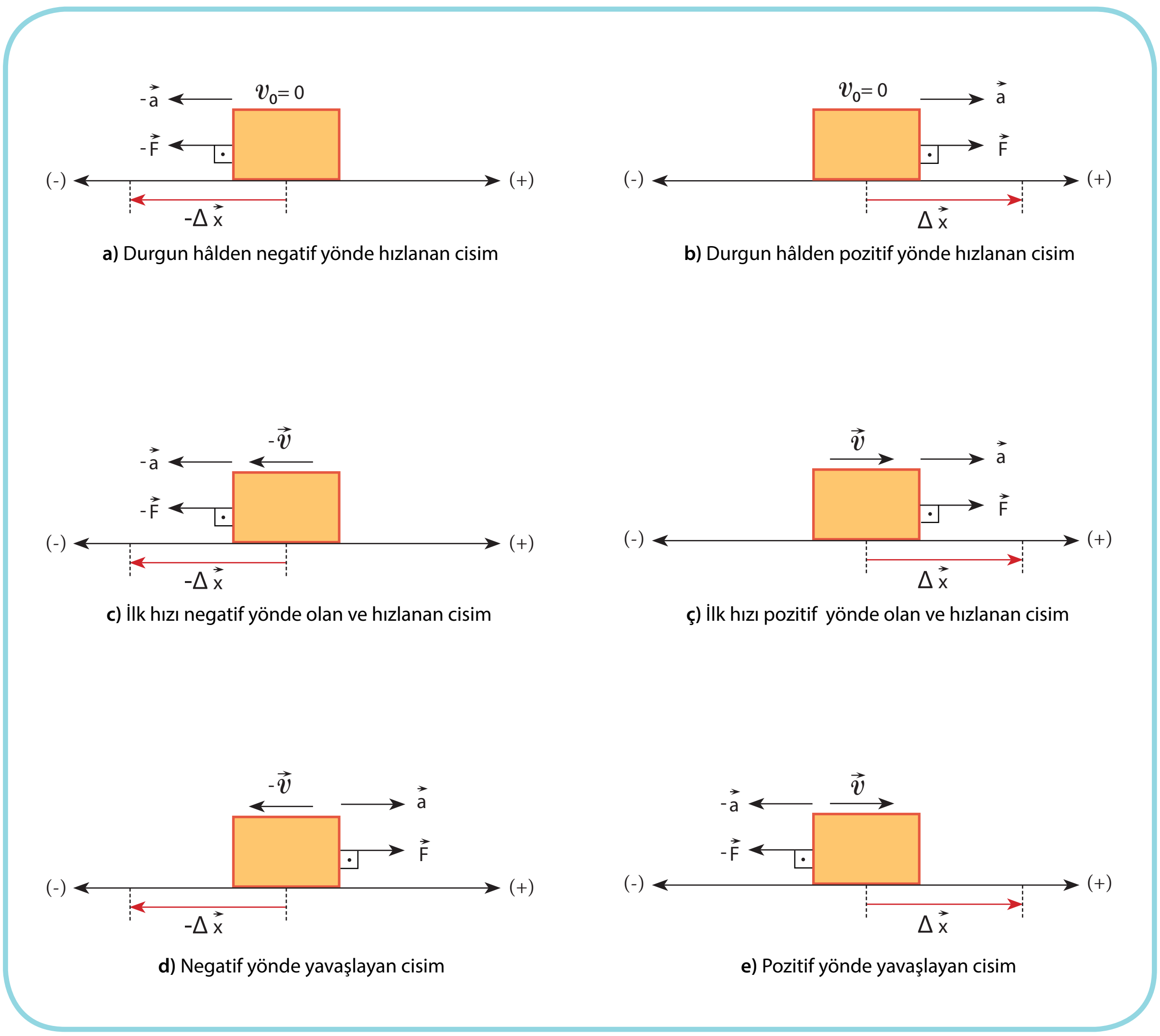
ÇÖZÜM

A) BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET GRAFİK VE DENKLEMLERİ

? Hangi durumlarda bir boyutta sabit ivmeli hareket yapılabilir?

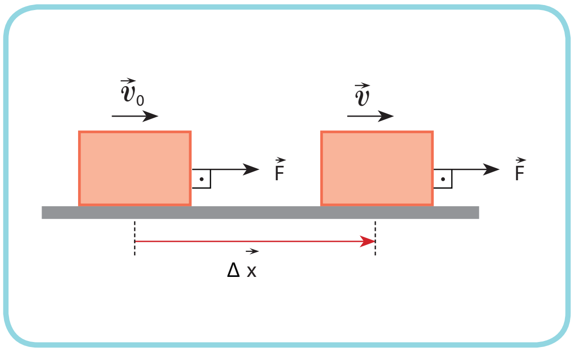
Araba, tramvay, uçak gibi araçlar ivmeli hareket yapabilir. Yüksek bir yerden denize atlayan yüzücünün, kalkış ve duruşu sırasında asansörün, yukarıya doğru atıldığında çıkış ve iniş yapan topun hareketi de ivmelidir. Hareketlinin konum, hız ve ivmesinin zamana bağlı olarak çizilen grafiklerinin incelenmesi, hareket türlerinin anlaşılmasını kolaylaştırır. Aynı zamanda bu grafiklerle hareket denklemlerine ulaşılarak hareketin analiz edilmesi sağlanır.

Cisimler, doğrusal bir eksen üzerinde farklı yönlerde hareket edebilir ve cisimlerin hareket şekline göre yer değiştirme, hız ve ivmelerinin yönleri farklılık gösterebilir. $\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$ ifadesine göre bir cisme uygulanan net kuvvet ile cismin ivmesi her zaman aynı yönlüdür. Ancak kuvvet, hız ve yer değiştirmeyle farklı yönde olabilir. Cisme uygulanan net kuvvetin yönü, cismin hareketi yönünde ise cisim hızlanır; hareketine ters yönde ise yavaşlar. Bir cismin kuvvet, ivme, hız ve yer değiştirmelerinin yönleri Şekil 1.35'te gösterilmiştir.

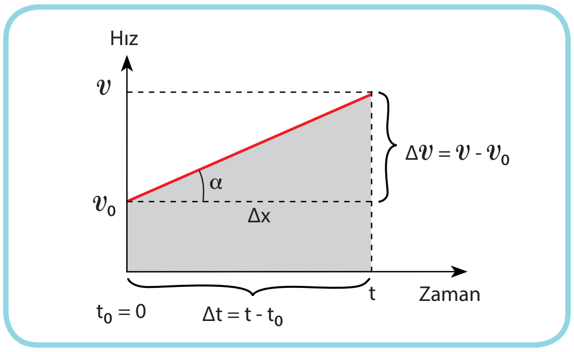


Şekil 1.35: Cisimlerin kuvvet, ivme, hız ve yer değiştirmelerinin yönleri

Bir boyutta sabit ivmeli hareket; düzgün hızlanan doğrusal hareket ve düzgün yavaşlayan doğrusal hareket olmak üzere iki bölümde incelenir.



Şekil 1.36: Düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan cisim



Grafik 1.1: Düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan cismin hız-zaman grafiği

$\vec{v}_0$ ilk hızına sahip bir hareketli t süre sonra sürtünmelerin ihmal edildiği doğrusal yolda düzgün hızlanarak hızını $\vec{v}$ 'ye çıkarmıştır (Şekil1.36). Bu hareketlinin hız-zaman grafiği Grafik 1.1'deki gibidir. Hız-zaman grafiğinde grafiğin eğimi ivmeyi verir. İvmenin matematiksel modelinden cismin son hızı

$$\text{Eğim} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \Longrightarrow a = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - v_0}{t - 0} \Longrightarrow v - v_0 = a \cdot t$$

$$v = v_0 + a \cdot t$$ olarak bulunur.

Hız-zaman grafiklerinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan, yer değiştirmeyi vermektedir. Buna göre

$$\text{Alan} = \Delta x = \frac{(v + v_0)t}{2}$$ olur.

$v = v_0 + a\,.\,t$ bağıntısı Δx ifadesinde yerine yazılırsa yer değiştirme

$$\Delta x = \frac{(v_0 + a \cdot t + v_0)t}{2} = \frac{2v_0 \cdot t + a \cdot t^2}{2}$$

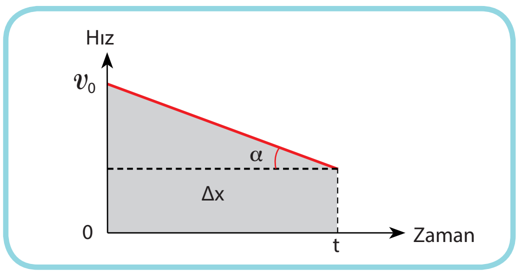
$$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$ olarak bulunur.

$v = v_0 + a\,.\,t$ bağıntısından $t = \dfrac{v - v_0}{a}$ elde edilir. t eşitliği $\Delta x = \dfrac{(v + v_0)t}{2}$ bağıntısında yerine yazılırsa

$$\Delta x = \frac{(v + v_0) \cdot (v - v_0)}{2a} = \frac{v^2 - v \cdot v_0 + v \cdot v_0 - v_0^2}{2a} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta x$$ elde edilir. Bu ifadeye **zamansız hız denklemi** denir.

Düzgün yavaşlayan doğrusal hareket için de grafiğin eğim ve alan bilgileri kullanılarak hareket denklemlerine ulaşılır. Hareketin ivmesi negatif olduğu için grafiğin eğimi negatif değer alır (Grafik 1.2). Elde edilen hız ve yer değiştirme denklemlerinde ivme negatif kullanılarak denklemler yazılır.



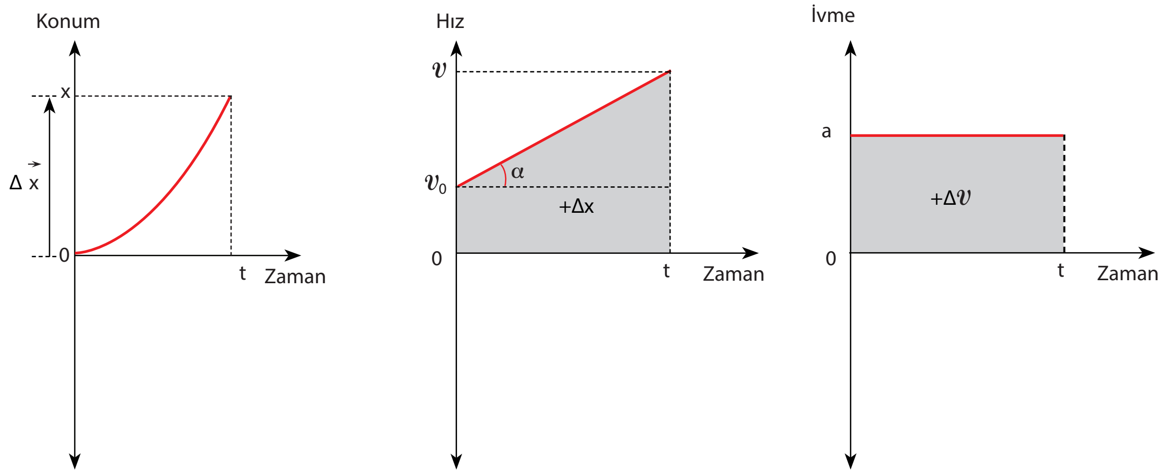
Grafik 1.2: Düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapan cismin hız-zaman grafiği

Pozitif yönde düzgün hızlanan ve negatif yönde düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapan cisimlerin ivmesi (+) değer alır. Buna göre hareket denklemleri Tablo 1.3'teki gibidir.

Tablo 1.3: Bir Boyutta Sabit ve Pozitif İvmeli Hareket Denklemleri

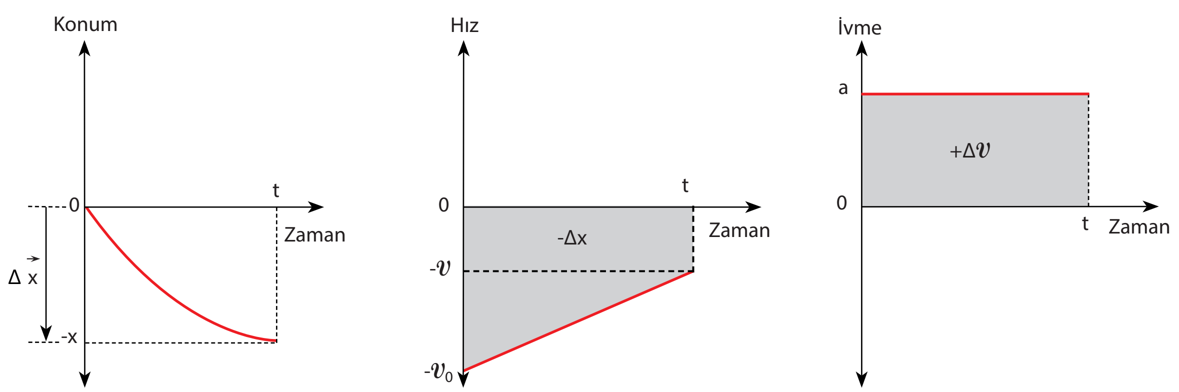
Hız Denklemi	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$\Delta\vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2}\vec{a} \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = v_0^2 + 2\vec{a} \cdot \Delta\vec{x}$

Tablodaki hareket denklemlerine göre t = 0 anında x = 0 noktasından harekete başlayan cisimlerin grafikleri çizilebilir. Grafik 1.3'te pozitif yönde düzgün hızlanan ve Grafik 1.4'te negatif yönde düzgün yavaşlayan cisimlerin konum, hız ve ivmelerinin zamana bağlı değişim grafikleri verilmiştir.



a) Konum-zaman grafiği **b)** Hız-zaman grafiği **c)** İvme-zaman grafiği

Grafik 1.3: Pozitif yönde düzgün hızlanan cismin hareket grafikleri



a) Konum-zaman grafiği **b)** Hız-zaman grafiği **c)** İvme-zaman grafiği

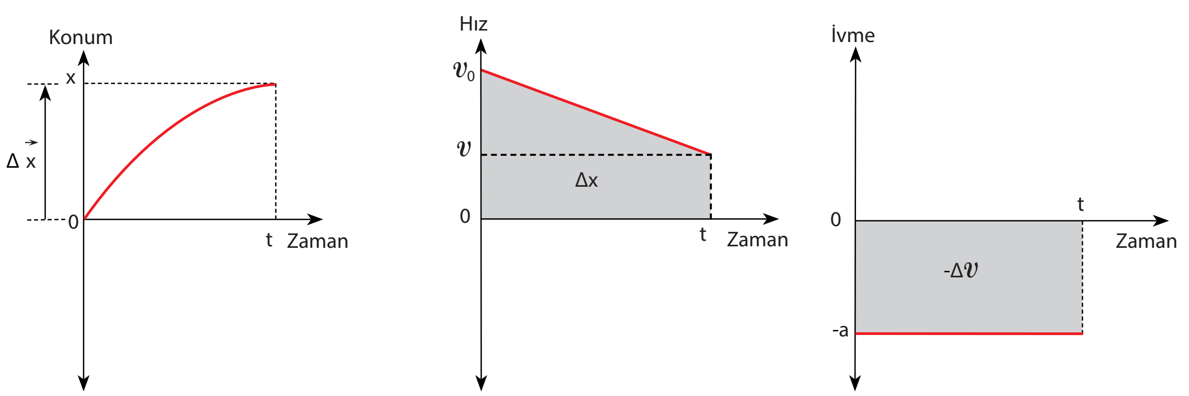
Grafik 1.4: Negatif yönde düzgün yavaşlayan cismin hareket grafikleri

Pozitif yönde düzgün yavaşlayan ve negatif yönde düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan cismin ivmesi (-) değer alır. Buna göre hareket denklemleri Tablo 1.4'teki gibidir.

Tablo 1.4: Bir Boyutta Sabit ve Negatif İvmeli Hareket Denklemleri

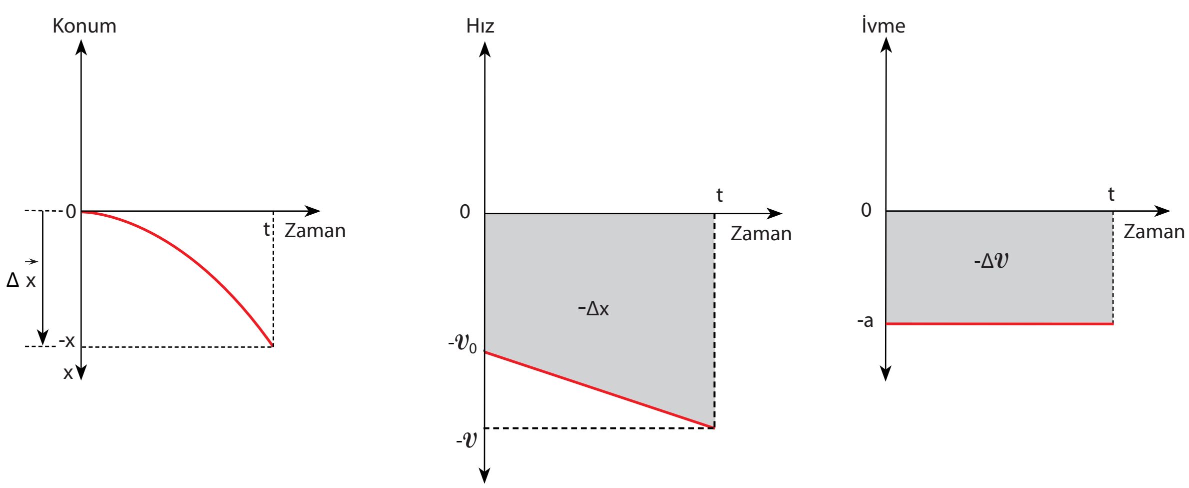
Hız Denklemi	$\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{a} \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$\Delta\vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t - \frac{1}{2}\vec{a} \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = v_0^2 - 2\vec{a} \cdot \Delta\vec{x}$

Tablodaki hareket denklemlerine göre t = 0 anında x = 0 noktasından harekete başlayan cisimlerin grafikleri çizilebilir. Grafik 1.5'te pozitif yönde düzgün yavaşlayan ve Grafik 1.6'da negatif yönde düzgün hızlanan cisimlerin konum, hız ve ivmelerinin zamana bağlı değişim grafikleri verilmiştir.



a) Konum-zaman grafiği **b)** Hız-zaman grafiği **c)** İvme-zaman grafiği

Grafik 1.5: Pozitif yönde düzgün yavaşlayan cismin hareket grafikleri

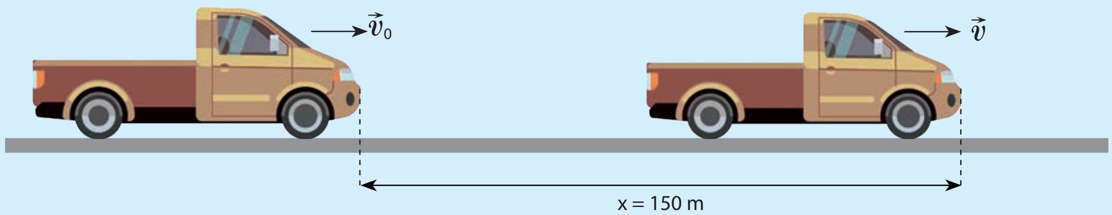


a) Konum-zaman grafiği **b)** Hız-zaman grafiği **c)** İvme-zaman grafiği

Grafik 1.6: Negatif yönde düzgün hızlanan cismin hareket grafikleri

40. ÖRNEK

Doğrusal bir yolda $\vec{v}_0$ hızıyla hareket eden kamyonet, 2 m/s^2 büyüklüğünde sabit ivmeyle hızlanarak 5 s'de 150 m yol almıştır.



Buna göre

a) Kamyonetin ilk hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
b) Kamyonetin son hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

a) Kamyonet düzgün hızlanan doğrusal hareket yapmıştır. Yer değiştirme denkleminden yararlanılarak

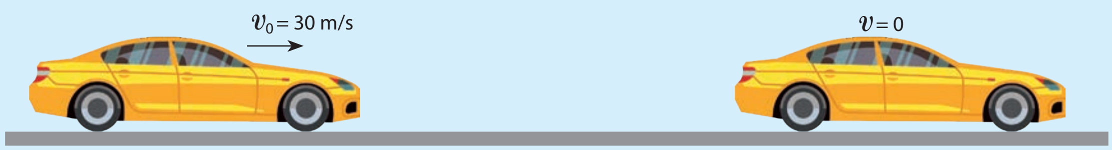
$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \Longrightarrow 150 = v_0 \cdot 5 + \frac{1}{2} 2 \cdot 5^2 \Longrightarrow 5v_0 = 150 - 25 \Longrightarrow v_0 = 25$ m/s olur.

b) Hız denkleminden yararlanılarak

$v = v_0 + a \cdot t \Longrightarrow v = 25 + 2 \cdot 5 \Longrightarrow v = 35$ m/s olur.

41. ÖRNEK

Doğrusal yolda 30 m/s büyüklüğündeki sabit hızla ilerleyen bir otomobilin sürücüsü, frene basarak otomobilin 6 m/s^2 büyüklüğünde sabit ivmeyle yavaşlayıp durmasını sağlamıştır.



Buna göre

a) Otomobil kaç s sonra durur?
b) Otomobil duruncaya kadar kaç m yol alır?

ÇÖZÜM

a) Araba düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yaparak durur ve son hızı sıfır olur. Hız denkleminden yararlanılarak

$v = v_0 - a \cdot t \Longrightarrow 0 = 30 - 6t \Longrightarrow 6t = 30 \Longrightarrow t = 5$ s bulunur.

b) Yer değiştirme denkleminden yararlanılarak

$\Delta x = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2 \Longrightarrow \Delta x = 30 \cdot 5 - \frac{1}{2} 6 \cdot 5^2 \Longrightarrow \Delta x = 150 - 3 \cdot 25 \Longrightarrow \Delta x = 150 - 75$

$\Delta x = 75$ m bulunur.

42. ÖRNEK

Durgun hâldeki bir cisim doğrusal yolda t = 0 anında x = 0 konumundan sabit ivme ile harekete başlayarak t sürede v büyüklüğünde hıza ulaşıp x kadar yer değiştirmektedir.

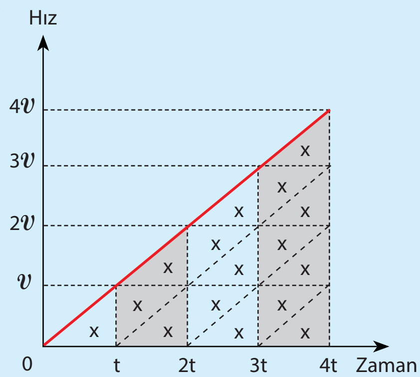
Cisim aynı ivme ile hareketine devam ettiğine göre

a) Cismin hız-zaman grafiğini çizerek t-2t, 2t-3t ve 3t-4t zaman aralıklarındaki yer değiştirmelerinin büyüklüklerinin kaç x olduğunu bulunuz.

b) Cismin konum-zaman grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

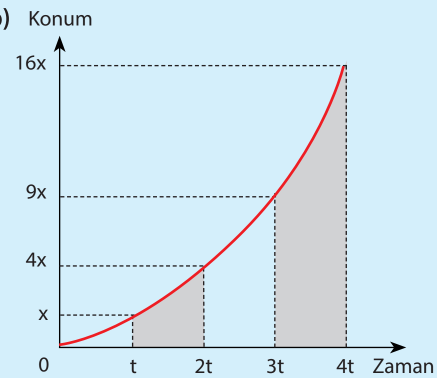
a)



Hareket sabit ivmeli olduğundan eşit zaman aralıklarındaki hız değişimleri eşittir. Cismin t anındaki hızının büyüklüğü v olduğuna göre 2t anındaki hızı 2v, 3t anındaki hızı 3v ve 4t anındaki hızının büyüklüğü 4v'dir. Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan cismin yaptığı yer değiştirmeyi verir.

0-t zaman aralığında grafik ile yatay eksen arasında kalan alan x kabul edilirse
t-2t zaman aralığında 3x,
2t-3t zaman aralığında 5x,
3t-4t zaman aralığında 7x kadar yer değiştirir.

b)



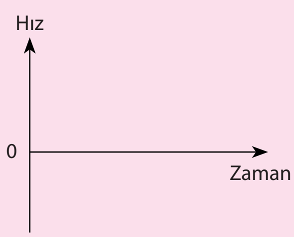
Durgun hâlden harekete başlayan düzgün hızlanan harekette cismin art arda gelen t zaman aralıklarındaki yer değiştirmeleri sırayla x, 3x, 5x, 7x... olur. Buna göre konum-zaman grafiği şekildeki gibi olur.

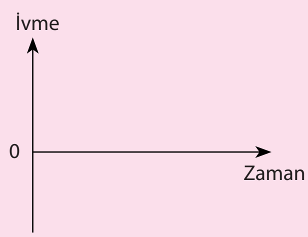
32. ALIŞTIRMA

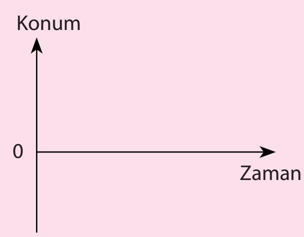
İlk hızı $\vec{v}_0$ olan bir araç t = 0 anında x = 0 konumundan pozitif yönde giderken düzgün yavaşlayarak durmaktadır. Sonra negatif yönde aynı büyüklükteki ivme ile hızlanarak -$\vec{v}_0$ hızına ulaşmaktadır.

Buna göre cisme ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafiklerini çiziniz.

ÇÖZÜM







43. ÖRNEK

Durgun hâldeki bir araba, doğrusal bir yolda sabit ivmeyle harekete geçerek 1. saniyede 10 m yol almıştır.

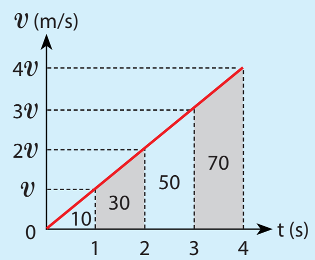
Araç aynı ivmeyle hareketine devam ettiğine göre

a) Araba 4. s'de kaç m yer değiştirir?
b) Araba 4 s'de kaç m yer değiştirir?

ÇÖZÜM

a) Hareketin hız-zaman grafiği çizilerek grafik ile yatay eksen arasında kalan alanlar hesaplanarak alınan yollar bulunur.

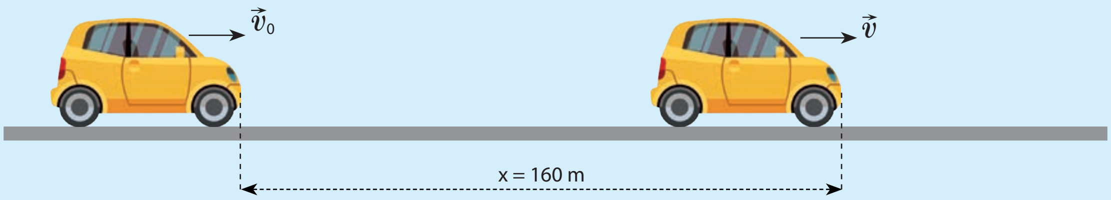
1. s'de x = 10 m verilmiştir. Buna göre araba
2. s'de 3x = 30 m
3. s'de 5x = 50 m
4. s'de 7x = 70 m yer değiştirir.



b) Araba, 4 s'de 10 + 30 + 50 + 70 = 160 m yer değiştirir.

44. ÖRNEK

Doğrusal bir yolda $\vec{v}_0$ hızıyla hareket eden araba 2 m/s² büyüklüğünde sabit ivme ile hızlanarak 8 s'de 160 m yol almaktadır.



Buna göre

a) Arabanın ilk hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
b) Arabanın son hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

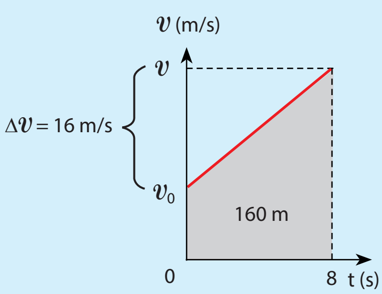
ÇÖZÜM

a) Düzgün hızlanan doğrusal hareketliye ait hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre hareketlinin hız değişimi

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Longrightarrow 2 = \frac{\Delta v}{8} \Longrightarrow \Delta v = 2 \cdot 8 \Longrightarrow \Delta v = 16$ m/s olur.

$v = v_0 + \Delta v = v_0 + 16$ olur. Hız-zaman grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan yer değiştirmeyi vereceğinden



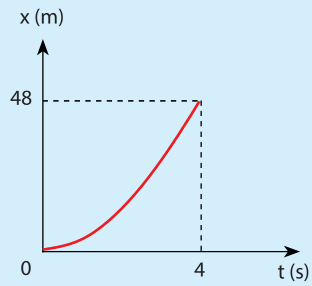
$\Delta x = \frac{(v_0 + v)t}{2} \Longrightarrow 160 = \frac{(v_0 + v_0 + 16) \cdot 8}{2}$

$320 = (2v_0 + 16) \cdot 8 \Longrightarrow 40 = 2v_0 + 16 \Longrightarrow 2v_0 = 24 \Longrightarrow v_0 = 12$ m/s olarak bulunur.

b) Cismin son hızı $v = v_0 + \Delta v \Longrightarrow v = 12 + 16 \Longrightarrow v = 28$ m/s olur.

45. ÖRNEK

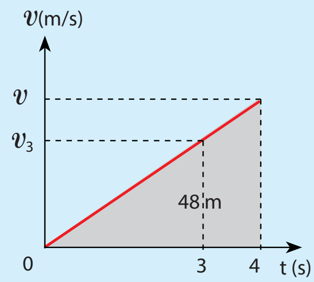
Doğrusal bir yolda durgun hâlden sabit ivmeyle harekete başlayan arabanın konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

a) Arabanın 4 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
b) Arabanın ivmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?
c) Arabanın 3 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM



a) Hareketlinin hız-zaman grafiği çizildiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan yer değiştirmeye eşittir ve 48 m'dir.

$\text{Alan} = \Delta x = \dfrac{\upsilon \cdot t}{2}$

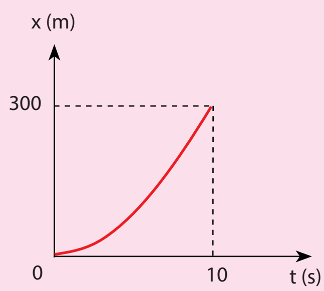
$48 = \dfrac{\upsilon \cdot 4}{2} \implies 48 = 2\upsilon \implies \upsilon = 24 \text{ m/s}$ olur.

b) Grafiğin eğiminden ivme $a = \dfrac{\Delta\upsilon}{\Delta t} \implies a = \dfrac{24}{4} = 6 \text{ m/s}^2$ olur.

c) Hareketlinin 3 s sonraki hızı υ_3 ise

$\upsilon_3 = \upsilon_0 + a \cdot t \implies \upsilon_3 = 0 + 6 \cdot 3 \implies \upsilon_3 = 18 \text{ m/s}$ olur.

33. ALIŞTIRMA



t = 0 anındaki hızının büyüklüğü 15 m/s olan hareketli doğrusal yolda sabit ivmeyle hareket etmektedir.

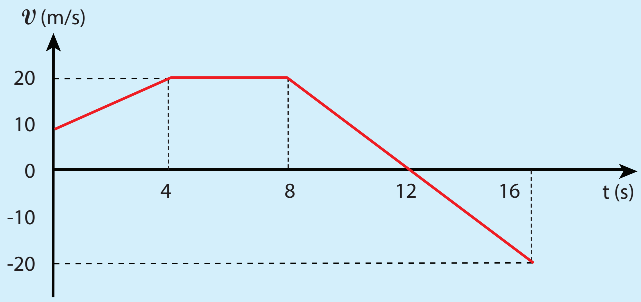
Hareketlinin konum-zaman grafiği şekildeki gibi olduğuna göre

a) 10 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
b) İvmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?
c) 4 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

46. ÖRNEK

Doğrusal bir yolda x = 0 konumundan harekete başlayan aracın hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

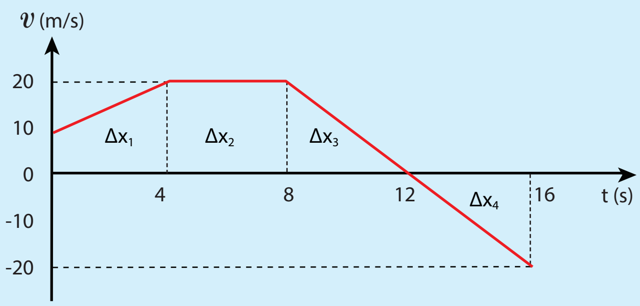
a) Aracın 16 s'de yaptığı yer değiştirme kaç m olur?

b) Aracın tüm hareketine ait konum-zaman grafiğini çiziniz.

c) Aracın ilk hareketi 20 m konumundan başlamış ise konum-zaman grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

a) Hız-zaman grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan, yer değiştirmeyi verir. Grafikte farklı hareket durumları için yer değiştirmeler Δx_1, Δx_2, Δx_3 ve Δx_4 olarak gösterilmiştir. Yer değiştirmelerin cebirsel toplamı, toplam yer değiştirmeyi verir. Buna göre



$$\Delta x_1 = \frac{(10+20)4}{2} = 60 \text{ m}$$

$$\Delta x_2 = 20 \cdot 4 = 80 \text{ m}$$

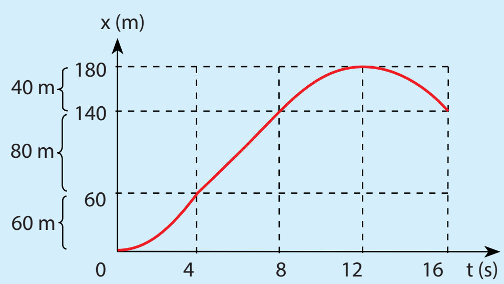
$$\Delta x_3 = \frac{20 \cdot 4}{2} = 40 \text{ m}$$

$$\Delta x_4 = \frac{-20 \cdot 4}{2} = -40 \text{ m}$$

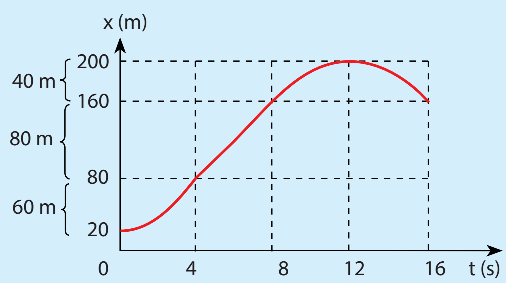
$$\Delta x = 60 + 80 + 40 - 40$$

$$\Delta x = 140 \text{ m olur.}$$

b) Araç; 0-4 s arasında (+) yönde düzgün hızlanan hareket, 4-8 s arasında (+) yönde sabit hızlı hareket, 8-12 s arasında (+) yönde düzgün yavaşlayan hareket ve 12-16 s arasında (–) yönde düzgün hızlanan hareket yapmıştır. Buna göre aracın hareketine ait konum-zaman grafiği şekildeki gibi olur.

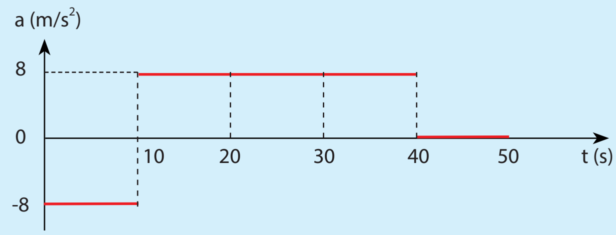


c) Aracın başlangıç konumunun 20. metrede olması 0-4 s, 4-8 s, 8-12 s ve 12-16 s arasındaki hareketinde değişiklik oluşturmaz. Yalnız başlangıç konumunu değiştirir. Buna göre aracın hareketine ait konum-zaman grafiği şekildeki gibi olur.



47. ÖRNEK

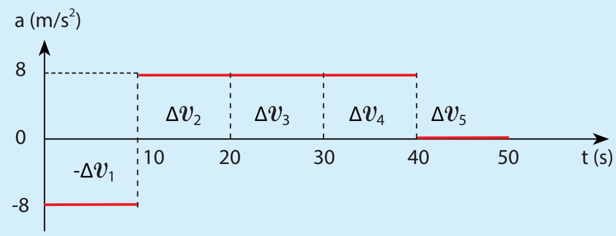
Doğrusal bir yolda ilk hızı sıfır olan cismin ivme-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre hareketliye ait hız-zaman grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

İvme-zaman grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan, hız değişimini verir. Grafikte farklı hareket durumları için hız değişimleri Δv_1 , Δv_2 , Δv_3 ve Δv_4 olarak gösterilmiştir. Bu büyüklüklerin cebirsel toplamı, hız değişimini verir.



Buna göre Δv_1 = Alan = -8 · 10 = -80 m/s

Cismin hızındaki değişim -80 m/s'dir. İlk hızı sıfır olan cisim, negatif yönde düzgün hızlanır ve 10 s'de hızının büyüklüğü 80 m/s olur.

$\Delta v_2 = 8 \cdot 10 = 80$ m/s

Cismin hızı +80 m/s değişmiştir. 20 s sonraki hızı $\Delta v_1 + \Delta v_2 = -80 + 80 = 0$ olur.

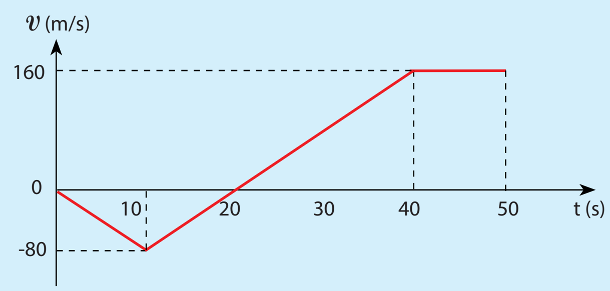
$\Delta v_3 = 8 \cdot 10 = 80$ m/s $\qquad$ $\Delta v_4 = 8 \cdot 10 = 80$ m/s

Cismin 40 s sonraki hızı $\Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3 + \Delta v_4 = +160$ m/s olur.

$\Delta v_5 = 0$

Cismin 50 s sonraki hızı +160 m/s olur.

Buna göre hareketliye ait hız-zaman grafiği aşağıdaki gibi olur.



48. ÖRNEK

Bir aracın ivme-zaman grafiği verilmiştir.

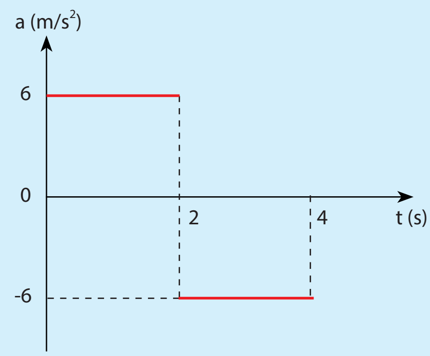
Buna göre hareketliye ait

a) İlk hızı $v = 0$ olan aracın hız-zaman grafiğini çiziniz.

b) x = 0 konumunda olan aracın ilk hızı $v = 0$ ise konum-zaman grafiğini çiziniz.

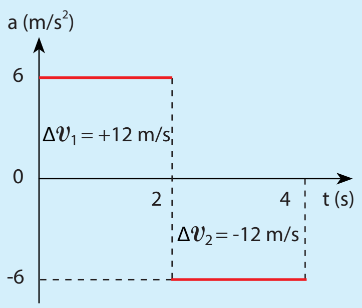
c) İlk hızı 6 m/s ise hız-zaman grafiğini çiziniz.

ç) İlk hızı -6 m/s ise hız-zaman grafiğini çiziniz.



ÇÖZÜM

a) İvme-zaman grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan hız değişimini verir.

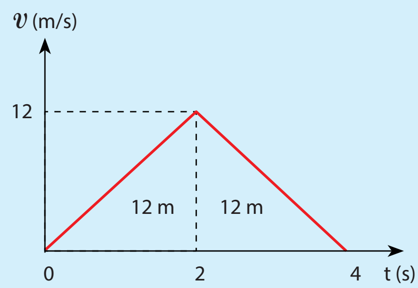


$v = v_0 + \Delta v$

$v_0 = 0$

$v_1 = 0 + 12 = 12$ m/s

$v_2 = 0 + 12 - 12 = 0$ olur.

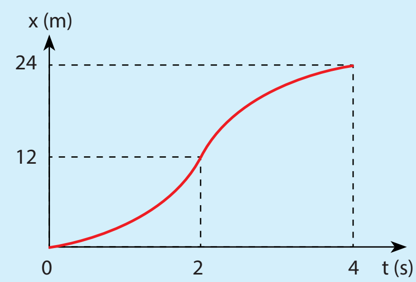


b) Hız-zaman grafiğinin altındaki alandan

t = 0 x = 0

$t_1 = 2$ s $x_1 = 0 + 12 = 12$ m

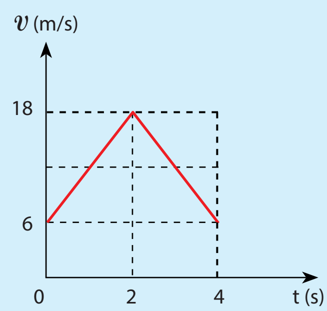
$t_2 = 4$ s $x_2 = 0 + 12 + 12 = 24$ m olur.



c) t = 0 $v_0 = 6$ m/s

$t_1 = 2$ s $v_1 = 6 + 12 = 18$ m/s

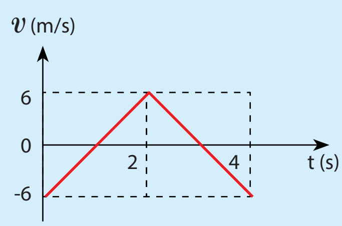
$t_2 = 4$ s $v_2 = 6 + 12 - 12 = 6$ m/s olur.



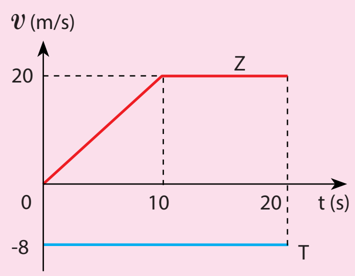
ç) t = 0 $v_0 = -6$ m/s

$t_1 = 2$ s $v_1 = -6 + 12 = 6$ m/s

$t_2 = 4$ s $v_2 = -6 + 12 - 12 = -6$ m/s olur.



34. ALIŞTIRMA



t = 0 anında x = 0 konumunda yan yana olan Z ve T araçları doğrusal yolda ilerlemektedir. Bu araçlara ait hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre

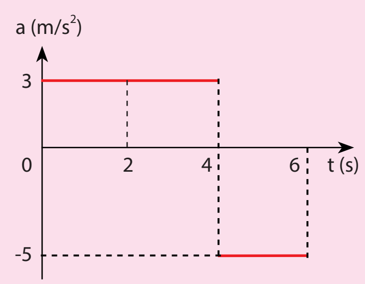
a) 20 s sonra araçlar arasındaki uzaklık kaç m olur?
b) Z aracının 6 s sonra hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
c) Z aracına ait konum-zaman grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

35. ALIŞTIRMA

Doğrusal bir yolda ilk hızı 5 m/s olan hareketlinin ivme-zaman grafiği şekildeki gibidir.

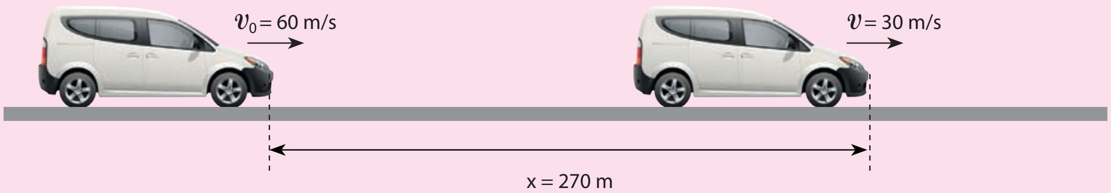
Buna göre hareketlinin 6 s sonundaki hızının büyülüğü kaç m/s olur?



ÇÖZÜM

36. ALIŞTIRMA

Doğrusal bir yolda 60 m/s büyüklüğünde hızla ilerlemekte olan aracın şoförü frene basarak aracın sabit ivmeyle yavaşlamasını sağlamıştır.



Araç, hızının büyüklüğü 30 m/s olana kadar 270 m yol aldığına göre

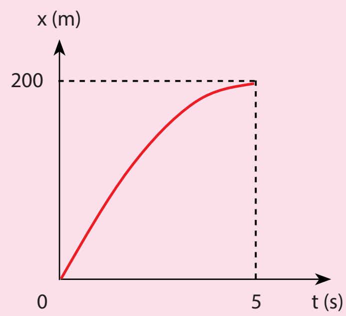
a) Aracın hızının büyüklüğü kaç s sonra 60 m/s'den 30 m/s'ye düşer?

b) Aracın ivmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?

ÇÖZÜM

37. ALIŞTIRMA

t = 0 anındaki hızının büyüklüğü 55 m/s olan araba doğrusal yolda sabit ivmeyle hareket etmektedir. Arabanın hareketine ait konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.

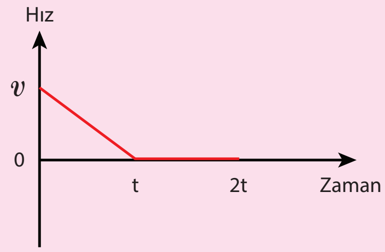


Buna göre arabanın 5 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

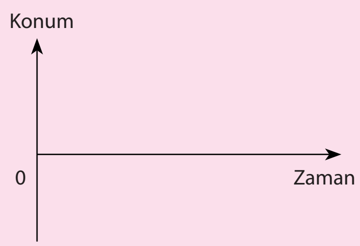
38. ALIŞTIRMA

Doğrusal bir yolda x = 0 konumundan $\vec{v}$ hızıyla harekete başlayan cismin hız-zaman grafiği aşağıda verilmiştir.



Buna göre cismin hareketine ait konum-zaman ve ivme-zaman grafiklerini çiziniz.

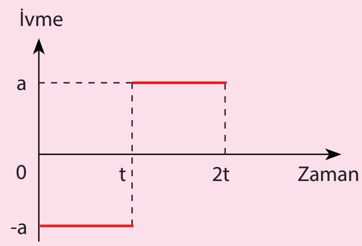
ÇÖZÜM





39. ALIŞTIRMA

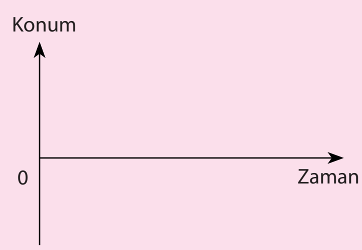
Doğrusal bir yolda, t = 0 anında x = 0 konumundan v büyüklüğünde hız ile harekete başlayan cismin ivme-zaman grafiği aşağıda verilmiştir. Cismin t süredeki hız değişiminin büyüklüğü v ve yer değiştirmesinin büyüklüğü x'tir.



Buna göre cismin hareketini yorumlayarak harekete ait konum-zaman ve hız-zaman grafiklerini çiziniz.

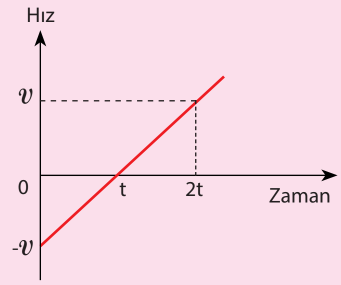
ÇÖZÜM





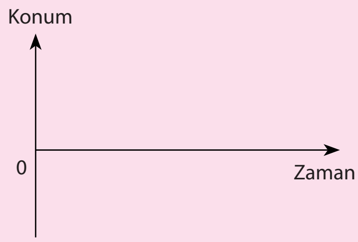
40. ALIŞTIRMA

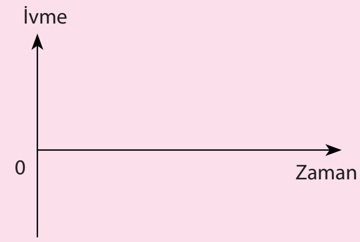
Doğrusal bir yolda x = 0 konumundan $-\vec{v}$ hızıyla harekete başlayan cismin hız-zaman grafiği aşağıda verilmiştir.



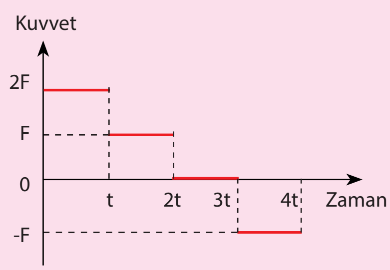
Buna göre cismin hareketine ait konum-zaman ve ivme-zaman grafiklerini çiziniz.

ÇÖZÜM





41. ALIŞTIRMA

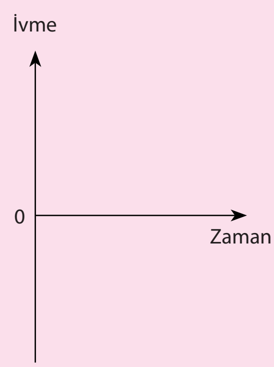


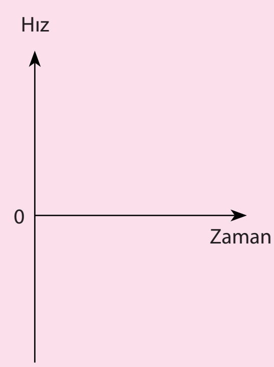
Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde durmakta olan m kütleli bir cisme ait kuvvet-zaman grafiği verilmiştir.

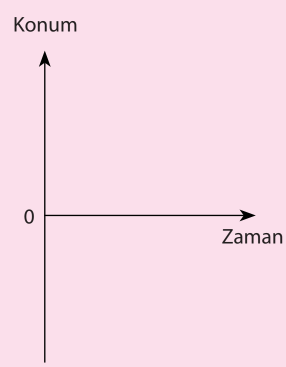
Buna göre t = 0 anında x = 0 konumunda olan cismin

a) İvme-zaman
b) Hız-zaman
c) Konum-zaman grafiklerini çiziniz.

ÇÖZÜM







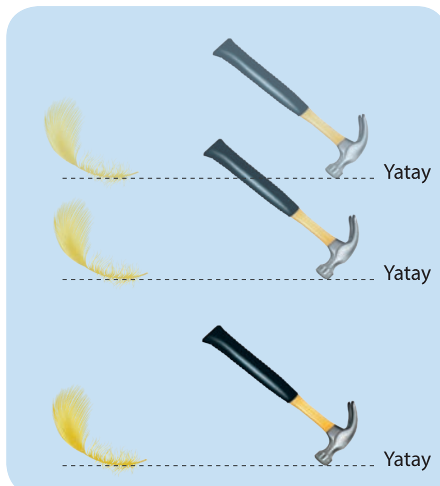
B) HAVA DİRENCİNİN İHMAL EDİLDİĞİ ORTAMDA DÜŞME HAREKETİ

Dünya'nın cisimlere çekim kuvveti uyguladığı bilinmektedir. Bu kuvvetin yönü Dünya'nın merkezine doğrudur. Gök cisimlerinin birim kütleye uyguladığı çekim kuvvetine o gök cisminin **çekim ivmesi** denir ve $\vec{g}$ sembolü ile gösterilir. Dünya'nın çekim ivmesi Dünya anlamına gelen "yer" kelimesi ile ifade edilerek yer çekimi ivmesi olarak adlandırılır. Dünya üzerinde bulunulan konuma göre yer çekimi ivmesi farklı değerler alabilir. Örneğin Ekvator'da 9,78 m/s^2 iken kutuplarda 9,83 m/s^2 dir.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda serbest düşmeye bırakılan cisimlerin ivmesi, kütlelerine bağlı mıdır?

Düşen cisimlerle ilgili fikir öne sürdüğü bilinen ilk bilim insanı, Aristo'dur (MÖ 384-322). Aristo'nun "Ağır cisimler hafif cisimlerden önce düşer." fikri yanlış olmasına rağmen 1600'lere kadar kabul görmüştür. Düşen cisimlerle ilgili bugünkü bilgileri ilk ortaya koyan bilim insanı ise İtalyan Galileo Galilei'dir [Galileyo Galileyi (1564-1642)]. Galilei'nin Pisa (Pizza) Kulesi'nden aynı anda bıraktığı farklı ağırlıktaki iki cismin hemen hemen aynı anda yere düştüğünü gösteren bir deney yaptığı söylenir. Bu deneyin yapıldığı kesin olmamakla birlikte eğik düzlemler üzerinde konuyla ilgili deneyler yaptığı bilinir. Eğik düzlemi, ivmeyi azaltmak için kullanır. Küçük bir topu eğik düzleme bırakıp topun ardışık eşit zaman aralıklarında aldığı yolu ölçmüştür. Bu deneyler sayesinde serbest düşen bir cismin hareketine ait sonuçlara ulaşmıştır.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda ilk hızsız olarak bırakılan cisimler, yalnız çekim kuvveti etkisinde hareket eder. Bu harekete, **serbest düşme hareketi** denir. Cisim, yer çekim kuvveti etkisinde hızlanarak yeryüzüne düşer. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir taş ile bir kâğıt bardak aynı yükseklikten aynı anda serbest bırakılırsa eşit çekim ivmesi ile hızlanıp aynı anda yere düşer. 2 Ağustos 1971 tarihinde böyle bir deney, Astronot David Scott (Deyvid Sıkat) tarafından Ay'da yapılmıştır. David Scott'ın aynı anda bıraktığı bir çekiç ile bir tüy, eş zamanlı olarak Ay yüzeyine düşmüştür (Görsel 1.6).



Görsel 1. 6: Havasız ortamda aynı yükseklikten serbest bırakılan tüy ve çekicin eşit zaman aralıklarındaki konumları

42. ALIŞTIRMA

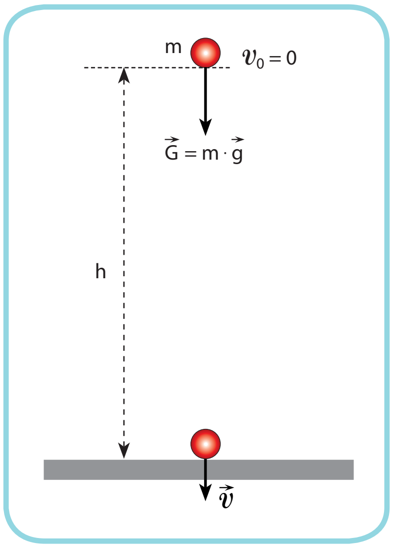
Ekvator'da hava direncinin ihmal edildiği durumda h yüksekliğinden serbest bırakılan m kütleli cisim, t süre sonra v büyüklüğünde hızla yere çarpmaktadır.

Buna göre

a) **Daha büyük kütleli bir cisim aynı yükseklikten bırakılırsa hareket süresi ve yere çarpma hızı nasıl değişir?**

b) **m kütleli cisim, Kuzey Kutup noktasında h yüksekliğinden bırakılırsa yere çarpma hızı ve hareket süresi Ekvator'daki değerlerine göre nasıl değişir?**

ÇÖZÜM



Şekil 1.37: Hava direnci olmayan ortamda serbest bırakılan m kütleli cisim

Hava direncinin olmadığı ortamda, h yüksekliğinden serbest bırakılan cisme etki eden tek kuvvet, cismin ağırlığıdır (Şekil 1.37). Buna göre

$$\vec{F} = \vec{G}$$
$$m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$$
$$\vec{a} = \vec{g} \text{ olur.}$$

Serbest düşme hareketinde cisim, çekim kuvveti etkisiyle düşey düzlemde düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar. Hava direnci ihmal edilen ortamda düşen cisimlerin ivmesi her zaman çekim ivmesidir ve cismin kütlesine bağlı değildir. Düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemlerinde $\vec{a}$ ivmesi yerine, $\vec{g}$ çekim ivmesi yazılarak serbest düşme hareketine ait hareket denklemleri Tablo 1.5'teki gibi ifade edilir.

Tablo 1.5: Serbest Düşme Hareketine Ait Hareket Denklemleri

Hız Denklemi	$\vec{\upsilon} = \vec{g} \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$\vec{h} = \frac{1}{2}\vec{g} \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$\upsilon^2 = 2\vec{g} \cdot \vec{h}$

49. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda m ve 2m kütleli cisimler aynı yükseklikten serbest düşmeye bırakıldığında 3t süre sonunda yere çarpmaktadır.

m kütleli cisim t süre sonunda h kadar yol alıp υ büyüklüğünde hıza ulaştığına göre cisimlerin 3t süre boyunca hızları ve düşerken aldıkları yolların büyüklüklerini karşılaştırınız.

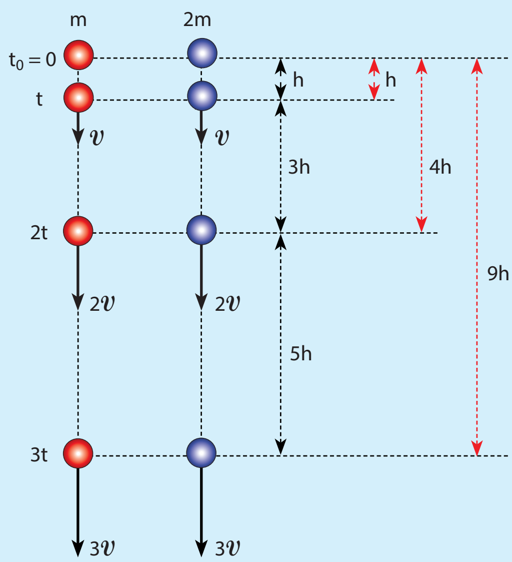
ÇÖZÜM

$\upsilon = g \cdot t$ denkleminden

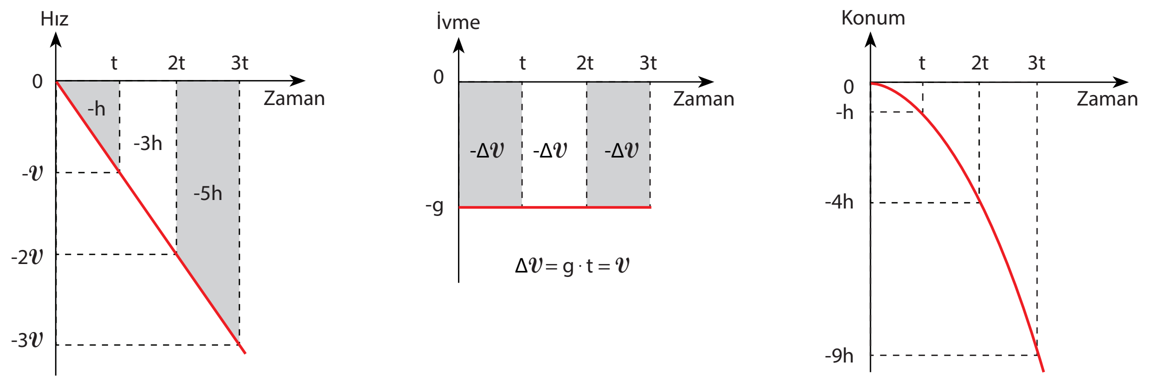
$\upsilon_1 = g \cdot t = \upsilon$ $\qquad h_1 = \frac{1}{2} g \cdot t^2 = h$

$\upsilon_2 = g \cdot 2t = 2\upsilon$ $\qquad h_2 = \frac{1}{2} g \cdot (2t)^2 = 4h$

$\upsilon_3 = g \cdot 3t = 3\upsilon$ $\qquad h_3 = \frac{1}{2} g \cdot (3t)^2 = 9h$ olur.



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda serbest düşme hareketi yapan cisme ait grafiklerin özellikleri ile ilk hızı sıfır olan ve düzgün hızlanan doğrusal hareketliye ait grafiklerin özellikleri aynıdır. Aşağı yön (-) seçilerek cismin t sürede ϑ büyüklüğünde hıza ulaşıp h kadar düştüğü kabul edilerek çizilen hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.7'deki gibi olur.



a) Hız-zaman grafiği **b)** İvme-zaman grafiği **c)** Konum-zaman grafiği

Grafik 1.7: Hava direncinin ihmal edildiği ortamda serbest düşme hareketine ait grafikler

50. ÖRNEK

Bir cisim hava direncinin ihmal edildiği ortamda serbest düşmeye bırakılmaktadır.

Buna göre cismin 5 s boyunca her 1 saniyelik zaman aralıklarındaki hız büyüklükleri ve düşme yükseklikleri nasıl olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Serbest düşen cisme ait hareket denklemleri

$\vartheta = g \cdot t = 10 \cdot t$

$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 = \frac{1}{2} 10 \cdot t^2 = 5t^2$ olur.

Hareket denklemlerinde t yerine 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 değerleri yazılarak aşağıdaki tablo oluşturulur.

Zaman (s) t	Hız Büyüklüğü (m/s) $\vartheta = g \cdot t = 10t$	Düşme Yüksekliği (m) $h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 = 5t^2$	
0	0	0	
1	10	5	5
2	20	20	15
3	30	45	25
4	40	80	35
5	50	125	45

43. ALIŞTIRMA

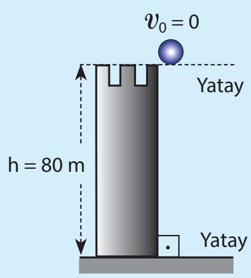
Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir bilye, yerden 150 m yükseklikten serbest bırakılmaktadır.

Buna göre

a) Bilye bırakıldıktan 4 s sonra yerden kaç m yüksekte olur?
b) Bilye 4. s'de kaç m düşer? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

51. ÖRNEK



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim, 80 m yüksekliğe sahip kuleden serbest düşmeye bırakılmaktadır.

Buna göre

a) Cisim kaç s'de yere düşer ?
b) Cismin yere çarpma hızının büyüklüğü kaç m/s olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) Serbest düşen cisim için yer değiştirme

$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ olduğundan

$80 = \frac{1}{2} 10 \cdot t^2 \Longrightarrow t^2 = 16 \Longrightarrow t = 4$ s sonra cisim yere düşer.

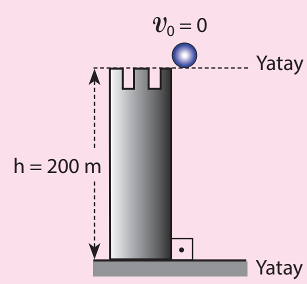
b) Cismin yere çarpma hızı

$v = g \cdot t \Longrightarrow v = 10 \cdot 4 \Longrightarrow v = 40$ m/s olur.

44. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir taş, yerden 200 m yükseklikteki kuleden serbest düşmeye bırakılmaktadır.

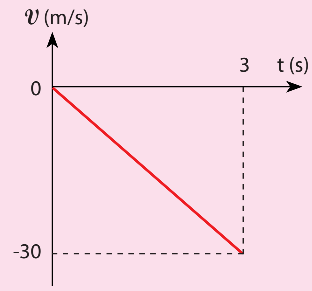
Buna göre 5 s sonra taşın yerden yüksekliği kaç m olur?
($g = 10\ m/s^2$ alınız.)



ÇÖZÜM

45. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda serbest düşmeye bırakılan bilyenin yere düşene kadarki hareketine ait hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

a) Bilye kaç m yüksekten bırakılmıştır?

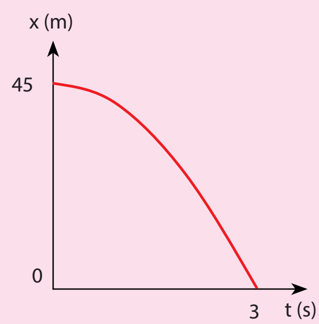
b) Bilyenin hareketine ait konum-zaman grafiğini çiziniz.

($g = 10$ m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

46. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden belli bir yükseklikten serbest düşmeye bırakılan cismin yere düşene kadarki hareketine ait konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

a) Cismin yere çarpma hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

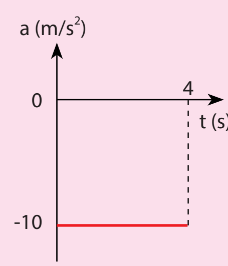
b) Cismin hareketine ait hız-zaman ve ivme-zaman grafiğini çiziniz.

($g = 10$ m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

47. ALIŞTIRMA

Serbest düşmeye bırakılan cismin yere düşene kadarki hareketine ait ivme-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

a) Cismin hareketine ait hız-zaman grafiğini çiziniz.

b) Cismin hareketine ait konum-zaman grafiğini çiziniz.

($g = 10$ m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

C) DÜŞEN CİSİMLERE ETKİ EDEN HAVA DİRENÇ KUVVETİ

ETKİNLİK VAR

Etkinlik 1.1: Düşen Cisimlere Etki Eden Hava Direnç Kuvvetinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Etkinliğin Amacı

Hava direnç kuvvetinin cismin kesit alanına, bulunduğu ortama ve kütlesine bağlılığını gözlemlemek

Araç Gereç

» 20 x 30 cm boyutlarında 2 mukavva
» 2 pinpon topu
» Şırınga
» Şeffaf şişe
» 2 adet özdeş, şişeye girebilecek boyutta silgi
» Su



Görsel I



Görsel II



Görsel III

Etkinliğin Yapılışı

1. Mukavvalardan birini sağ, diğerini sol elinize alınız. Görsel I'deki gibi mukavvalardan birini yüzeyi yere paralel, diğerini dik olacak biçimde tutunuz. Her iki mukavvayı da aynı yükseklikten aynı anda bırakınız. Bırakma işlemini farklı yüksekliklerden birkaç defa tekrarlayınız. Mukavvalardan hangisinin yere önce düştüğüne dikkat ediniz.
2. Şırınga yardımıyla pinpon toplarından birini su ile doldurunuz.
3. Pinpon toplarından birini sağ, diğerini sol elinize alınız. Görsel II'deki gibi her iki topu aynı yükseklikten aynı anda bırakınız. Aynı işlemi farklı yüksekliklerden birkaç defa tekrarlayınız. Toplardan hangisinin yere önce düştüğüne dikkat ediniz.
4. Şişeyi su ile doldurunuz. Görsel III'teki gibi özdeş silgilerden birini şişenin içine, diğerini şişenin dışına aynı yükseklikten eş zamanlı bırakınız. Silgilerden hangisinin yere önce düştüğüne dikkat ediniz.

Değerlendirme

1. Yüzeyi yere paralel ve dik olarak bırakılan mukavvalardan hangisi daha önce yere düşmüştür? Nedenini açıklayınız.
2. İçi boş ve içi su dolu pinpon toplarından hangisi daha önce yere düşmüştür? Nedenini açıklayınız.
3. Şişenin içine ve dışına bırakılan silgilerin hangisi yere daha önce düşmüştür? Nedenini açıklayınız.

Boşlukta aynı yükseklikten ve aynı anda serbest bırakılan cisimler, kütle ve kesit alanlarının büyüklüklerine bağlı olmadan yan yana hareket eder. Ancak aynı şekilde akışkan bir ortam içinde bırakılırlarsa yan yana hareket edemez. Cisimler, bir ortam içinde hareket ederken ortamın tanecikleri ile temas eder. Temas ettikleri tanecikleri iterek geçtikleri için direnç kuvveti (F_d) ile karşılaşır. Direnç kuvveti de sürtünme kuvveti gibi cismin hareketine zıt yönlü oluşur ve cismin hareketini zorlaştırır. Ortamın tanecik yoğunluğu arttıkça cisimlere etkiyen direnç kuvveti de artar. Örneğin hava ortamı içinde yürürken direnç kuvveti çok fazla hissedilmediği için kolay yürünür ancak su içinde yürürken ortamın yoğunluğu artar ve itilmesi gereken tanecik sayısı arttığı için havaya göre daha zor yürünür.



Görsel 1.7: Hava direncinin değerinin büyük ve küçük olduğu aerodinamik yapı örnekleri

Hava direnci, içinde hareket eden cismin hareket doğrultusuna dik olan en büyük kesit alanı (A) ile doğru orantılıdır. Temas yüzeyi arttıkça cisme çarpan tanecik sayısının artması, direnç kuvvetini arttırır. Direnç kuvveti, cismin geometrik şekline bağlı olarak değişir. Örneğin düz bir yüzey yerine paraşüt şeklinde bir yüzey kullanılırsa yüzeye uygulanan direnç kuvveti artar. Paraşüt içindeki hava tanecikleri yüzeye çarptıktan hemen sonra paraşütten ayrılamaz ve defalarca yüzeye çarparak direnç kuvvetinin artmasını sağlar. Hava direnci, en büyük değerini paraşüt gibi içi boş yapılarda alırken en küçük değerini su damlası modeli ile ifade edilen yapılarda alır (Görsel 1.7).

Ortamın direnç katsayısı (K) cismin şekline ve akışkanın cinsine bağlı olan bir katsayıdır. Direnç kuvvetinin büyüklüğü, aynı zamanda cismin hızına ($\mathcal{v}$) da bağlıdır. Cismin hızının artması, birim zamanda temas edeceği tanecik sayısını ve taneciklerle çarpışma şiddetini arttırdığı için direnç kuvvetini de arttırır. Hava direnci, hızı çok küçük olan cisimler için hızıyla; hızı daha büyük olan cisimler için hızının farklı üsleriyle doğru orantılı olabilir. Buna göre hava direnci

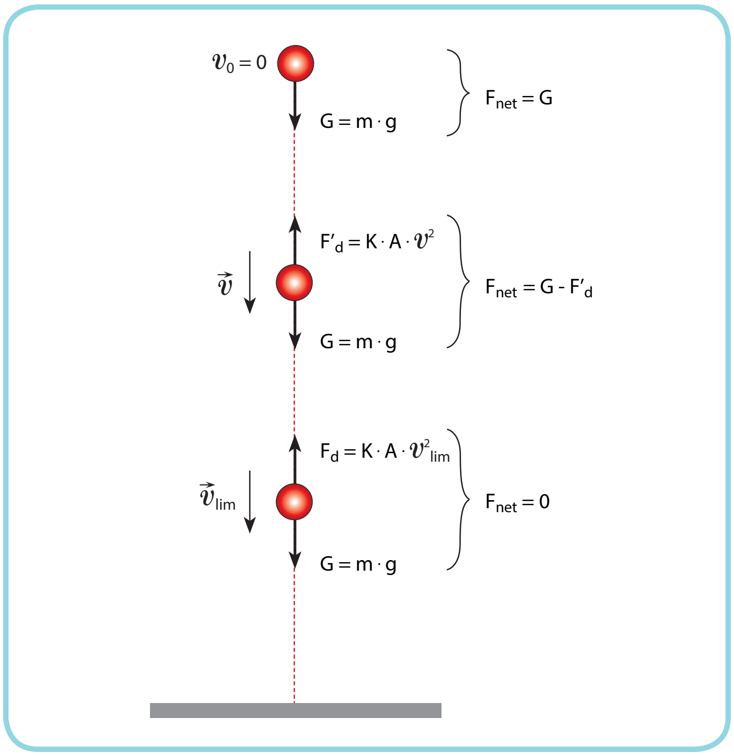
$F_d = K \cdot A \cdot \mathcal{v}^n$ ile ifade edilir.

Yeryüzü yakınlarında cisimlere etki eden direnç kuvveti, hızın karesi ($\mathcal{v}^2$) ile doğru orantılıdır. Buna göre hava direnci

$F_d = K \cdot A \cdot \mathcal{v}^2$ şeklinde olur.

Ç) LİMİT HIZ

Üzerimize düşen yağmur damlaları neden canımızı acıtmaz?



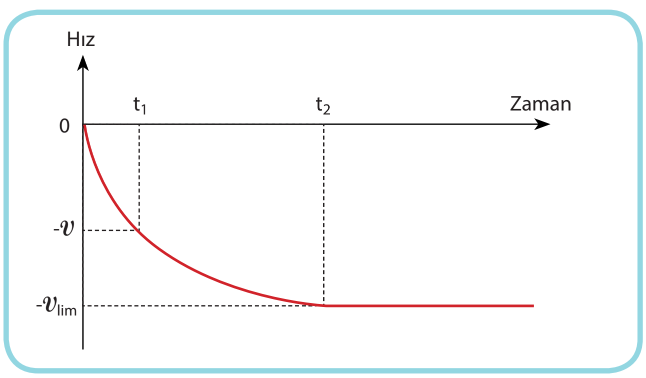
Şekil 1.38: Yüksek bir yerden serbest bırakılan cisme etki eden hava direnç kuvveti

Yerden belli bir yükseklikte tutulan cisme bırakıldığı anda etki eden net kuvvet, cismin ağırlığına eşittir. Cisim serbest bırakıldığında ağırlığı etkisiyle hızlanır. Cismin hızı arttıkça ona etki eden hava direnç kuvveti artar. Bu durumda cisme etki eden net kuvvet ve cismin ivmesi azalır. Bir süre sonra cismin hızı arttığı için hava direnç kuvvetinin büyüklüğü ve cismin ağırlığının büyüklüğü eşitlenir (F_d = G). Bu eşitlik oluştuğu anda cisme etki eden net kuvvet sıfır olur. Cisim bundan sonra sabit hızla hareket eder. Bu sabit hıza **limit hız** ($\vec{v}_{lim}$) denir (Şekil 1.38). Limit hızın matematiksel modeli

$$F_d = G \Longrightarrow K \cdot A \cdot v^2_{lim} = m \cdot g \Longrightarrow v^2_{lim} = \frac{m \cdot g}{K \cdot A}$$

$$v_{lim} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{K \cdot A}}$$ olur.

Hava ortamındaki bir cisim, limit hıza ulaşmasına yetecek kadar yüksekten ilk hızsız bırakılırsa limit hıza ulaşıncaya kadar sürekli hızlanır. Buna göre cisme ait hız-zaman grafiği Grafik 1.8'deki gibi olur.



Grafik 1.8: Hava direncinin olduğu ortamda yüksekten bırakılan cismin hız-zaman grafiği

Limit hız günlük yaşamda büyük önem taşımaktadır. Limit hızın varlığı yağmur damlalarının canımızı acıtmasını, küçük dolu tanelerinin hayatımızı tehlikeye sokmasını engeller. Uçaktan paraşütle atlama imkânı sağlar. Hava direnç kuvvetinin, dolayısıyla limit hızın varlığı avantaj sağladığı gibi dezavantaja da neden olabilir. Araba, tren, uçak gibi araçlarda hava direncinin artması yakıt tüketimini de artırır.

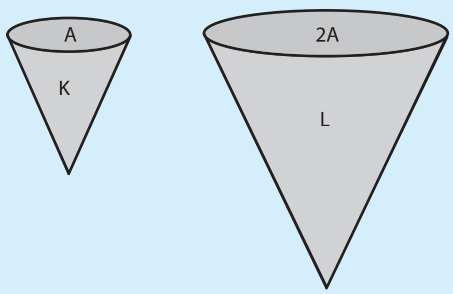
Cisimlerin limit hız değerleri boyut ve şekillerine göre farklılık gösterebilir. Tablo 1.6'da hava ortamında düşen bazı cisimlerin limit hızları verilmiştir.

Tablo1.6: Hava Ortamında Düşen Farklı Cisimlerin Limit Hızları

Cisimler	Kütle (kg)	Dik Kesit (m^2)	$\mathcal{V}_{lim}$ (m/s)
Hava Dalgıcı	75	0,7	60
Beyzbol Topu (r = 3,66 cm)	0,145	$4,2 \times 10^{-3}$	43
Golf Topu (r = 2,1 cm)	0,046	$1,4 \times 10^{-3}$	44
Dolu Tanesi (r = 0,5 cm)	$4,8 \times 10^{-4}$	$7,9 \times 10^{-5}$	14
Yağmur Damlası (r = 0,2 cm)	$3,4 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-5}$	9

52. ÖRNEK

Aynı ortamda bulanan kesit alanı A olan K ve kesit alanı 2A olan L konilerinin kütleleri eşittir.



Koniler limit hıza ulaşabilecekleri aynı yükseklikten serbest bırakıldıklarına göre hangi koni yere daha önce düşer?

ÇÖZÜM

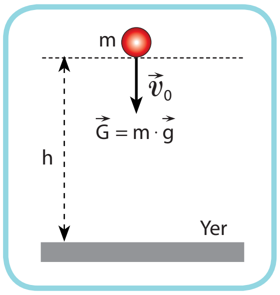
Düşen cisme etki eden hava direnci, cismin hareket doğrultusundaki en büyük kesit alanına, şekline ve içinde bulunduğu akışkanın cinsine bağlı olarak değişir. Hava direnci ile cismin ağırlığı eşitlendiğinde cisim limit hıza ulaşır. K ve L konileri aynı ortamda bulunan eşit kütleli cisimler olduğu için hava direncini etkileyen tek değişken konilerin taban alanlarıdır. L'nin taban alanı K'den daha büyük olduğu için L cismi limit hıza daha çabuk ulaşır.

Buna göre K cisminin yere düşme süresi, L cisminin yere düşme süresinden daha kısa olur.

D) DÜŞEY DOĞRULTUDA ATIŞ HAREKETİ

Yukarıdan Aşağıya Doğru Düşey Atış Hareketi

Bir kuleden atılan cismin yere düşme süresini kısaltmak için neler yapılabilir?



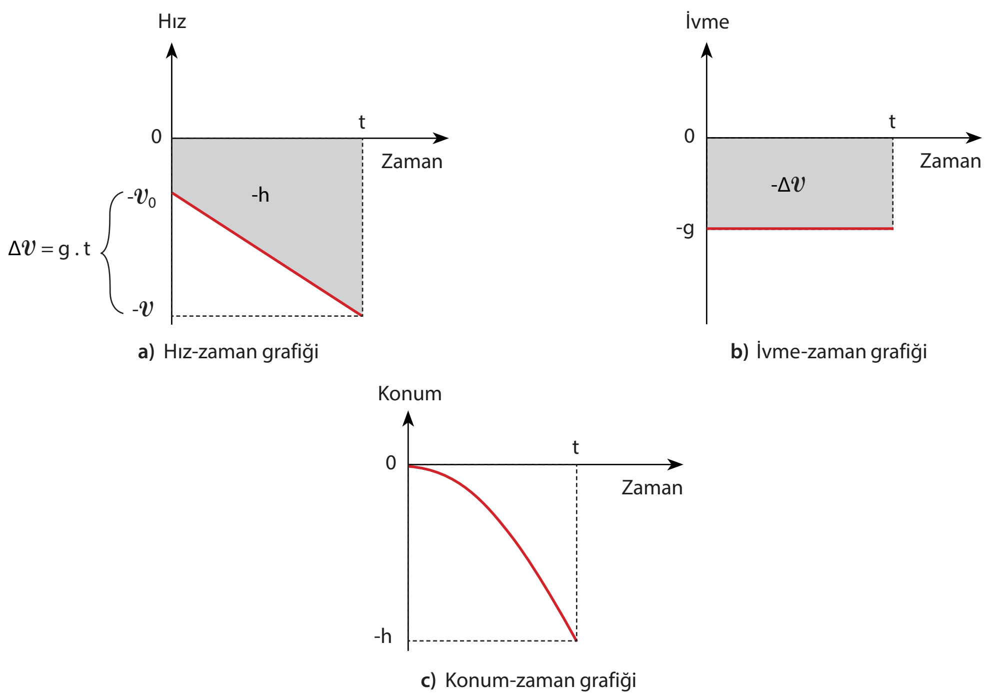
Şekil 1.39: Yukarıdan aşağıya düşey atılan cisim

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda $\vec{v}_0$ hızıyla düşey olarak aşağı doğru atılan cisme yalnızca çekim kuvveti etki eder (Şekil 1.39). Cismin hareket ivmesinin büyüklüğü g'ye eşittir. Cisme etki eden çekim ivmesi, hareketle aynı yöndedir. Bu durumda cisim, ilk hızı $\vec{v}_0$ olan düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar. Düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemlerinde $\vec{a}$ ivmesi yerine $\vec{g}$ çekim ivmesi, $\Delta\vec{x}$ yer değiştirmesi yerine h yüksekliği yazılır. Bu durumda hareketle ilgili denklemler Tablo 1.7'deki gibi olur.

Tablo 1.7: Yukarıdan Aşağıya Düşey Atılan Cismin Hareket Denklemleri

Hız Denklemi	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$\vec{h} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2}\vec{g} \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = v_0^2 + 2\vec{g} \cdot \vec{h}$

Aşağıya doğru düşey atış hareketine ait grafiklerin özellikleri, ilk hızı $\vec{v}_0$ olan ve düzgün hızlanan doğrusal hareket ait grafiklerin özellikleriyle aynıdır. v_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan ve t sürede v büyüklüğünde hıza ulaşan cisim h kadar düşer ve aşağı doğru olan yön (-) seçilirse hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.9'daki gibi olur.



Grafik 1.9: Yukarıdan aşağıya doğru düşey atılan cisme ait grafikler

53. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda 6 m/s büyüklüğünde hızla yerden h yüksekliğinden aşağıya doğru düşey atılan cisim 14 m/s büyüklüğünde hızla yere çarpmaktadır.

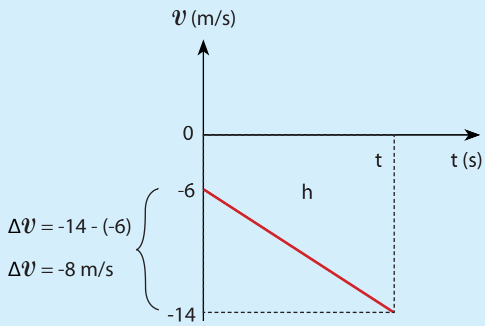
Buna göre

a) Cisim kaç s'de yere düşmüştür?

b) Cisim kaç m yüksekten atılmıştır? (g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

a) Cismin hareketine ait hız-zaman grafiği aşağıdaki gibi çizilir.



Hız-zaman grafiklerinde eğim, ivmeyi verir. Buna göre $g = \dfrac{\Delta\mathcal{v}}{\Delta t}$ olur. Bu ifadeden

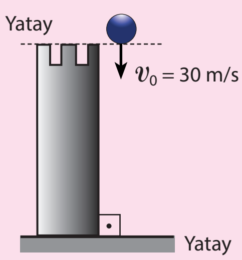
$\Delta\mathcal{v} = g \cdot t \Longrightarrow -8 = -10 \cdot t \Longrightarrow t = 0{,}8$ s bulunur.

b) Hız-zaman grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alandan cismin düştüğü yükseklik bulunur. Yükseklik

$$h = \frac{(6 + 14)0{,}8}{2}$$

$h = 20 \cdot 0{,}4 = 8$ m olur.

48. ALIŞTIRMA



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim, kuleden 30 m/s büyüklüğünde hızla düşey doğrultuda aşağıya doğru atıldığında 10 s'de yere ulaşmaktadır.

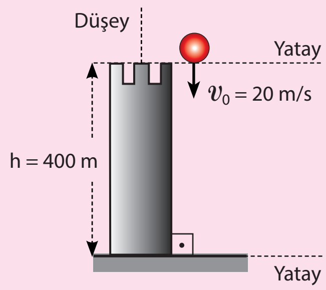
Buna göre

a) Cismin yere çarpma hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

b) Cismin atıldığı yükseklik kaç m olur? (g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

49. ALIŞTIRMA

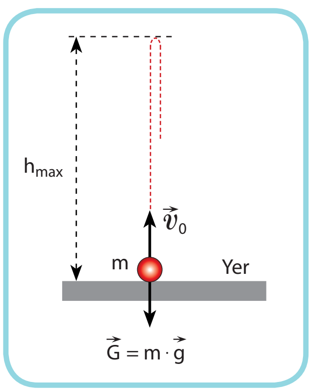


Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim, 400 m yüksekliğe sahip kuleden 20 m/s büyüklüğünde hızla düşey doğrultuda aşağıya doğru atılmıştır.

Buna göre 6 s sonra taşın yerden yüksekliği kaç m olur?
($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Aşağıdan Yukarıya Doğru Düşey Atış Hareketi



Şekil 1.40: Aşağıdan yukarıya düşey atılan cisim

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden $\vec{v}_0$ hızıyla düşey olarak yukarıya doğru atılan cisme çekim kuvveti etki eder (Şekil 1.40). Cismin hareket ivmesi $\vec{g}$'ye eşittir. Cisme etki eden çekim kuvveti harekete zıt yönde olduğu için cisim, ilk hızı $\vec{v}_0$ olan düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapar ve durur. Cismin yukarıya çıkması sırasında düzgün yavaşlayan doğrusal harekete ait denklemlerde $\vec{a}$ ivmesi yerine $\vec{g}$ çekim ivmesi, $\Delta \vec{x}$ yer değiştirmesi yerine h yüksekliği yazılır. Bu durumda hareketle ilgili denklemler Tablo 1.8'deki gibi olur. Yukarıya doğru düşey olarak atılan cisim maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra serbest düşme hareketi yapar.

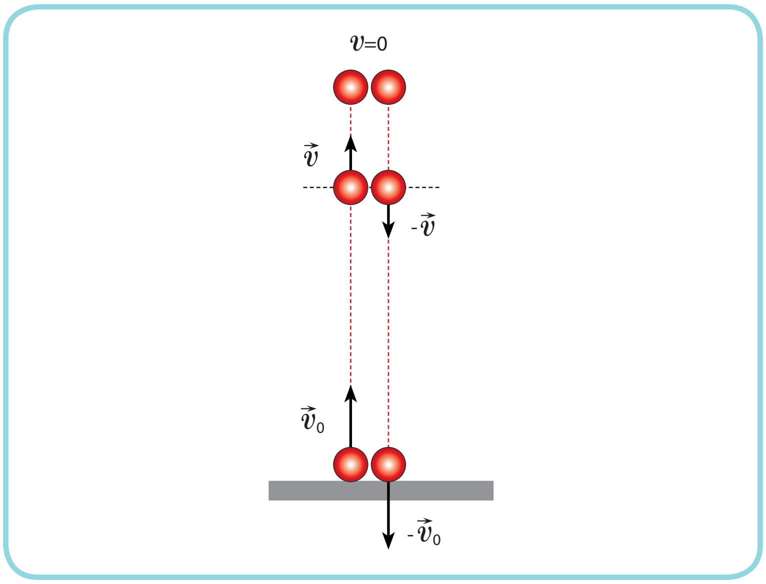
Tablo 1.8: Aşağıdan Yukarıya Düşey Atılan Cismin Hareket Denklemleri

Hız Denklemi	$\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{g} \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$\vec{h} = \vec{v}_0 \cdot t - \frac{1}{2} \vec{g} \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = v_0^2 - 2\vec{g} \cdot \vec{h}$

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden yukarıya doğru düşey olarak atılan cismin çıkabileceği en büyük yüksekliğe **maksimum yükseklik** (h_{max}) denir. Cismin atıldığı yere düştüğü kabul edilirse çıkış süresi $t_ç$, iniş süresine t_i ve uçuş süresi t_u ile gösterilirse

$t_ç = t_i$

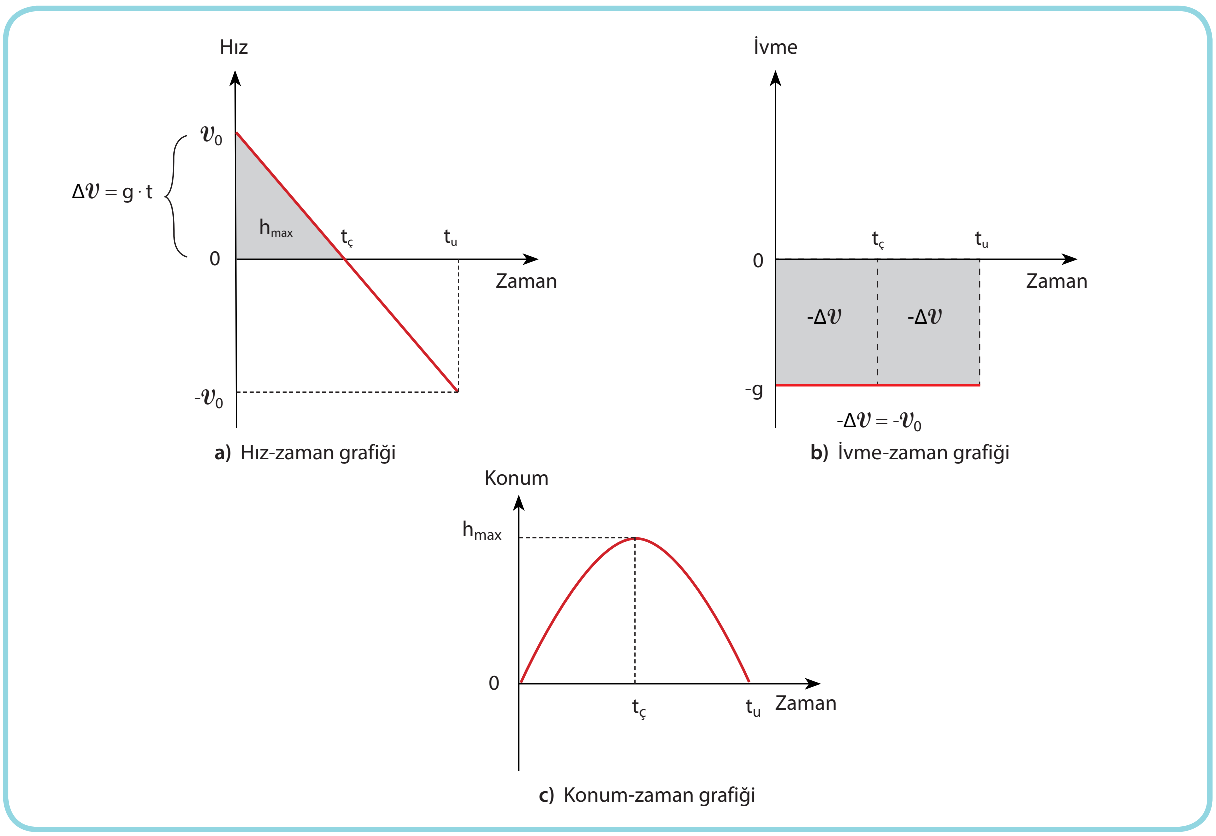
$t_u = 2t_ç = 2t_i$ olur.



Şekil 1.41: Düşey yukarı atılan cismin aynı yükseklikten geçerken sahip olduğu hızlar

Çıkış ve iniş sürelerinin eşitliği dikkate alındığında çıkış ve inişteki hız değişim büyüklüklerinin de eşit olduğu görülür. Sonuç olarak cisim yükselirken herhangi bir noktadaki hızının büyüklüğü v ise aşağı doğru düşerken aynı noktadaki hızının büyüklüğü yine v olur (Şekil 1.41).

Aşağıdan yukarıya doğru düşey atış hareketine ait grafiklerin özellikleri, çıkışta düzgün yavaşlayan doğrusal hareket ve inişte düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan cismin grafikleriyle aynı özellikleri taşır. v_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan ve $t_ç$ süre sonra duran cisim, maksimum yüksekliğe (h_{max}) ulaşır. Buna göre aşağı doğru olan yön (-) seçilirse hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.10'daki gibi olur.



Grafik 1.10: Aşağıdan yukarıya doğru düşey atılan cisme ait grafikler

54. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatay düzlemdeki bir cisim düşey olarak yukarıya doğru 30 m/s büyüklüğünde hızla atılmıştır.

Buna göre

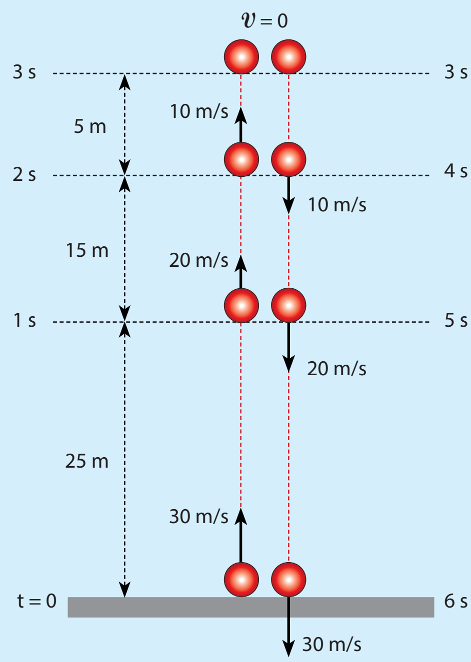
a) **Cisim kaç s yükselir?**

b) **Cismin çıkacağı maksimum yükseklik kaç m olur?**

c) **Cismin atıldıktan 5 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?** ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Cismin atıldıktan sonra 1 s aralıklarla konumu ve hızı şekildeki gibi olur.



a) Cisim yukarı doğru çıkarken hızı sıfır olana kadar yer çekimi ivmesi ile yavaşladığı için

$v = v_0 - g \cdot t \Longrightarrow 0 = 30 - 10t \Longrightarrow t = 3$ s yükselir.

b) Cismin çıkacağı maksimum yükseklik

$h_{max} = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 = 30 \cdot 3 - \frac{1}{2} 10 \cdot 3^2 = 45$ m olur.

c) Cisim 5 s'lik harekette 3 s yukarı çıkar. Geri kalan 2 s'de de serbest düşme hareketi yapar. 2 s serbest düşen cismin hızı

$v = g \cdot t = 10 \cdot 2 = 20$ m/s

büyüklüğünde ve aşağı yönde olur.

50. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim yerden 70 m/s büyüklüğünde hızla düşey doğrultu-da yukarıya doğru atılmıştır.

Buna göre

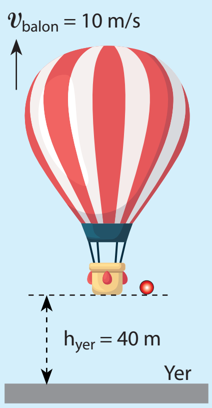
a) **Cisim kaç s sonra yere düşer?**

b) **Cisim kaç m/s büyüklüğünde hızla yere çarpar?**

c) **Cismin atıldıktan 10 s sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?** ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

55. ÖRNEK



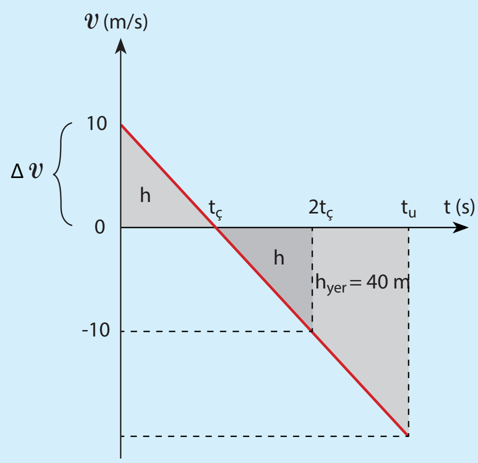
Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir hava balonu 10 m/s büyüklüğündeki sabit hızla yukarı doğru yükselmektedir. Balon yerden 40 m yükseklikteyken bir cisim balondan, balona göre ilk hızsız olarak bırakılmıştır.

Buna göre

a) Cismin hareketine ait hız-zaman grafiğini çiziniz?
b) Cismin çıkış süresi kaç s olur?
c) Cisim, çıkış süresi boyunca kaç m yükselir?
ç) Cismin yerden çıkacağı maksimum yükseklik kaç m olur?
d) Cismin uçuş süresi kaç s olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) Hareketli araçların içinde bulunan cisimler de aracın hızına sahiptir. Bu nedenle cisim, balondan serbest bırakıldığında balonun hızı ile hareket eder. Yani yukarı yönde 10 m/s büyüklüğünde hızla atılan cisim gibi davranır. Hız-zaman grafiği aşağıdaki gibi olur.



b) $\Delta v = g \cdot t_ç \Longrightarrow 10 = 10 \cdot t_ç \Longrightarrow t_ç = 1$ s olur.

c) $h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$

$h = \frac{1}{2} 10 \cdot 1^2 = 5$ m yükselir.

ç) $h_{max} = h + h_{yer} \Longrightarrow h_{max} = 5 + 40 = 45$ m olur.

d) Cismin maksimum yükseklikten yere iniş süresi

$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \Longrightarrow 45 = \frac{1}{2} 10 \cdot t_i^2 \Longrightarrow t_i = 3$ s olur.

Cismin uçuş süresi

$t_u = t_ç + t_i = 1 + 3 = 4$ s olur.

51. ALIŞTIRMA

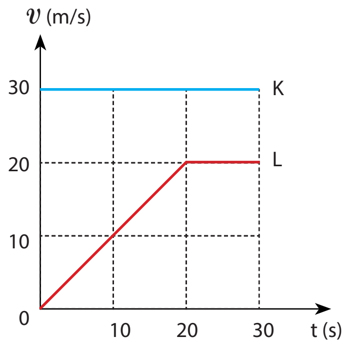
Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim, yerden düşey olarak yukarı doğru fırlatıldığında h kadar yükseğe çıkmaktadır.

Buna göre aynı cisim, aynı hızla Ay'da atılmış olsaydı çıkabileceği maksimum yükseklik nasıl değişirdi? ($g_{dünya} > g_{ay}$)

ÇÖZÜM

4. BÖLÜM SONU SORULARI

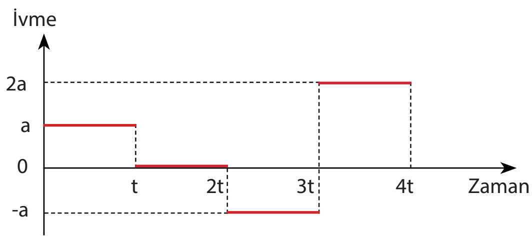
1. Doğrusal bir yolda başlangıçta yan yana bulunan K ve L araçlarına ait hız-zaman grafikleri şekildeki gibidir.



Buna göre 30 s sonra K ve L araçları arasındaki uzaklık kaç m olur?

ÇÖZÜM

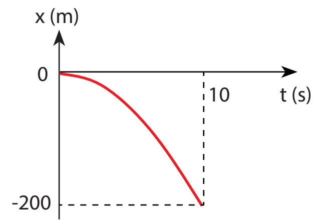
2. Durmakta olan bir cismin 0-4t zaman aralığındaki ivme-zaman grafiği şekildeki gibidir. Cisim t sürede x kadar yer değiştirmektedir.



Buna göre cismin 4t süresince yaptığı yer değiştirme kaç x olur?

ÇÖZÜM

3. Başlangıç hızının büyüklüğü 5 m/s olan araba sabit ivmeli hareket etmektedir. Başlangıçtan itibaren sürekli aynı yönde hareket eden arabanın konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



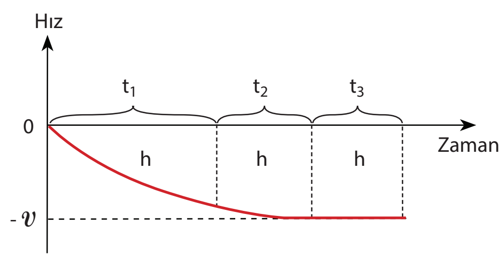
Buna göre

a) Arabanın son hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

b) Arabanın ivmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?

ÇÖZÜM

4. Yeterince yüksekten serbest bırakılan bir cismin hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.



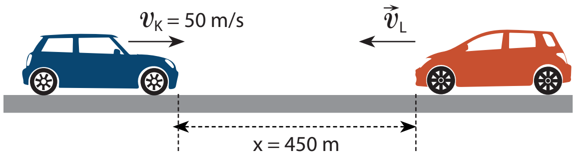
Buna göre

a) Cisim eşit ve h kadar yer değiştirmeler yaparken geçen süreler t_1, t_2 ve t_3 ise bu sürelerin büyüklük sıralaması nedir?

b) Aynı cisim düşey yukarı doğru atılsaydı cismin hızının büyüklüğü yukarı yönde $2\mathcal{v}$ olduğu andaki ivmesinin büyüklüğü kaç g olurdu?

ÇÖZÜM

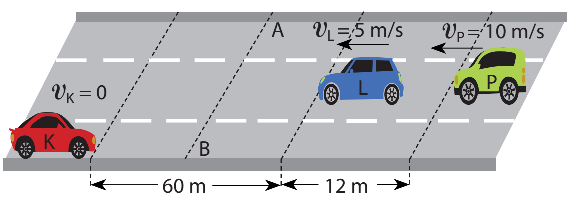
5. Birbirine doğru hareket eden K ve L araçları arasındaki uzaklık 450 m iken sürücüler aynı anda frene basmıştır. İki araç 10 s sonra birbirine değdiği anda durmuştur.



K aracının ilk hızının büyüklüğü 50 m/s olduğuna göre L aracının ilk hızının büyüklüğü υ_L kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

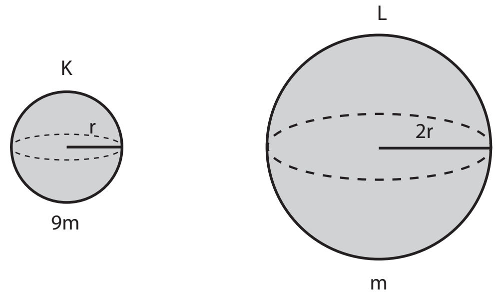
6. Doğrusal bir yolda bulunan K, L ve P araçlarından K aracı durgundur. L aracı 5 m/s, P aracı ise 10 m/s büyüklüğünde sabit hızlarla şekilde verilen yönlerde gitmektedir. P aracı L'ye çarpmamak için minimum ivme ile yavaşlamaya başladığı anda K aracı da sabit ivme ile hızlanmıştır. K aracı L aracının ön ucu ile AB doğrultusunda karşılaştığı anda P aracı L aracına ulaşmıştır.



L aracının boyu 2 m olduğuna göre K ve P araçlarının ivmelerinin büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM

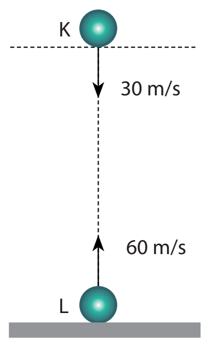
7. Aynı ortamda bulunan içi dolu K ve L kürelerinin yarıçapları sırayla r ve 2r, kütleleri 9m ve m'dir.



Küreler limit hıza ulaşabilecekleri eşit yükseklikten aynı anda bırakıldığına göre hangi küre yere daha önce düşer?

ÇÖZÜM

8. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda K ve L cisimleri şekildeki gibi aynı düşey doğrultudadır. K cismi 30 m/s büyüklüğünde hızla aşağıya, L cismi ise 60 m/s büyüklüğünde hızla yukarıya doğru aynı anda atılmaktadır.



Cisimler 2 s sonra çarpıştığına göre atıldıkları anda aralarındaki uzaklık kaç m olur?
($g = 10$ m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

1.5. İKİ BOYUTTA HAREKET

A) YATAY ATIŞ HAREKETİ

Bir kuleden yatay olarak atılan topun düştüğü noktadan daha uzağa gidebilmesi için neler yapılabilir?

Simülasyon1.1'i inceleyerek iki boyutta atış hareketlerini yorumlayınız.

Simülasyon 1.1: Atış Hareketleri

SİMÜLASYON VAR

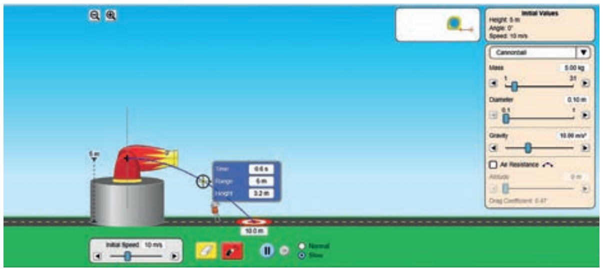
Simülasyonun Amacı

Atış hareketlerini incelemek

Verilen karekodu okutarak simülasyonu açınız.

Simülasyonda yatay atış hareketi incelenecektir. Görsel I'deki ekran görüntüsünde belirtilen "Projective Mobile" menüsünden "Lab" bölümünü açınız. Fırlatma düzeneğinin yüksekliği ve yatayla yaptığı açı ayarlanabilir. Bu amaçla düzenek, üzerine tıklanarak aşağı yukarı yönde sürüklenmelidir. Ekranın sağ kenarındaki menü yardımıyla yer çekimi ivmesi (Gravity), cismin kütlesi (Mass) ve çapı (Diameter) ayarlanabilir. Ekranın alt kısmındaki menüyle de gösterim şekli (Normal/Slow) ve cismin başlangıç hızı (Initial Speed) seçilebilir. Mavi renkli ölçüm aracıyla yörüngedeki herhangi bir nokta için zaman (Time), menzil (Range) ve yükseklik (Height) ölçümü yapılabilir. Bunun için ölçüm aracındaki (+) işareti ölçüm yapılacak noktanın üzerine getirilir. Zemindeki hedef figürünün bulunduğu noktanın, atış yapılan noktaya olan yatay uzaklığını gösterir. Simülasyon boyunca sürtünmeler ihmal edileceğinden ekrandaki menüde yer alan "Air Resistance" bölümünün seçili olmadığına dikkat ediniz.

Simülasyonun Uygulanışı



Görsel I

1. Görsel I'deki gibi cismin kütlesini 5 kg, çapını 0,1 m ve yer çekimi ivmesini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız. Atış yüksekliğini 5 m, başlangıç hızını 10 m/s ve gösterim şeklini "Slow" olarak seçiniz. Kırmızı butona tıklayıp gösterimi başlatınız ve cismin hareketini gözlemleyiniz. Ölçüm aracını cismin yere düştüğü noktaya getirerek menzil uzaklığını ve uçuş süresini ölçünüz. Cismin ilk hızını sırasıyla 20 m/s ve 30 m/s olarak seçip aynı işlemleri tekrarlayarak ölçüm sonuçlarını Tablo I'e yazınız.

Tablo I

İlk Hız (m/s)	Yükseklik (m)	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)	Kütle (kg)	Menzil (m)	Uçuş Süresi (s)
10	5	10	5		
20	5	10	5		
30	5	10	5		

Simülasyon 1.1'in devamı

2. Cismin kütlesini 5 kg, çapını 0,1 m ve yer çekimi ivmesini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız. Atış yüksekliğini 5 m, atış hızını 10 m/s ve gösterim şeklini "Slow" olarak seçiniz. Gösterimi başlatarak cismin hareketini gözlemleyiniz. Ölçüm aracını cismin yere düştüğü noktaya getirerek menzil uzaklığını ve uçuş süresini ölçünüz. Cismin atıldığı yüksekliği 10 m ve 15 m olarak seçip aynı işlemleri yaparak ölçüm sonuçlarını Tablo II'ye yazınız.

Tablo II

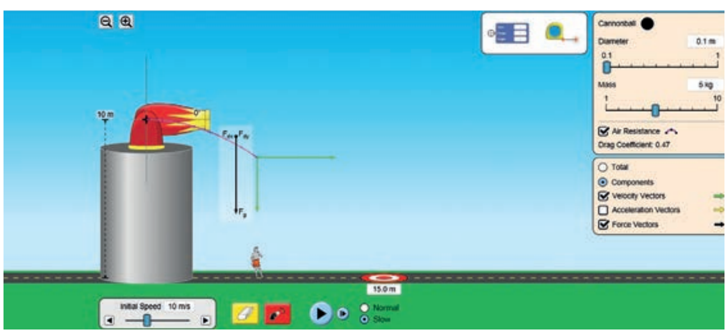
İlk Hız (m/s)	Yükseklik (m)	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)	Kütle (kg)	Menzil (m)	Uçuş Süresi (s)
10	5	10	5		
10	10	10	5		
10	15	10	5		

3. Cismin kütlesini 5 kg, çapını 0,1 m ve yer çekimi ivmesini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız. Atış yüksekliğini 5 m, atış hızını 10 m/s ve gösterim şeklini "Slow" olarak seçiniz. Gösterimi başlatarak cismin hareketini gözlemleyiniz. Ölçüm aracını cismin yere düştüğü noktaya getirerek menzil uzaklığını ve uçuş süresini ölçünüz. Yer çekimi ivmesini 9 m/s^2 ve 8 m/s^2 seçip aynı işlemleri yaparak ölçüm sonuçlarını Tablo III'e yazınız.

Tablo III

İlk Hız (m/s)	Yükseklik (m)	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)	Kütle (kg)	Menzil (m)	Uçuş Süresi (s)
10	5	10	5		
10	5	9	5		
10	5	8	5		

4. Görsel II'deki gibi cismin kütlesini 5 kg, çapını 0,1 m ve yer çekimi ivmesini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız. Atış yüksekliğini 5 m, atış hızını 10 m/s ve gösterim şeklini "Slow" olarak seçiniz. Gösterimi başlatarak cismin hareketini gözlemleyiniz. Ölçüm aracını cismin yere düştüğü noktaya getirerek menzil uzaklığını ve uçuş süresini ölçünüz. Ölçüm sonuçlarını Tablo IV'e yazınız. Cismin kütlesini 10 kg ve 20 kg olarak ayarlayıp aynı işlemleri yaparak ölçüm sonuçlarını Tablo IV'e kaydediniz.



Görsel II

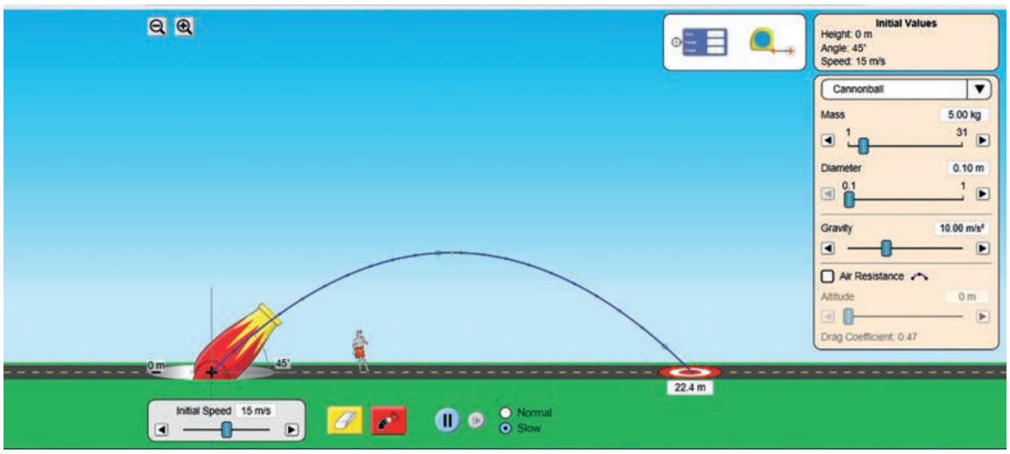
Tablo IV

İlk Hız (m/s)	Yükseklik (m)	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)	Kütle (kg)	Menzil (m)	Uçuş Süresi (s)
10	5	10	5		
10	5	10	10		
10	5	10	20		

Simülasyon 1.1'in devamı

5. Ekranın en alt kısmında yer alan menüden "Vectors" bölümünü açınız. Cismin kütlesini 5 kg, çapını 0,1 m, atış yüksekliğini 10 m ve başlangıç hızını 10 m/s olarak ayarlayınız ve gösterim şeklini "Slow" olarak seçiniz. Ekranın sağında bulunan menüde "Components", "Velocity Vectors" ve "Force Vectors" kutucuklarını işaretleyiniz. Simülasyonu oynatarak hareketi boyunca cismin hızının yatay bileşenine, düşey bileşenine ve cisme etki eden kuvvete ait vektörlerdeki değişimi gözlemleyiniz.

6. Görsel III'ün ekran görüntüsündeki düzeneği hazırlayınız. Cismin kütlesini 5 kg, çapını 0,1 m ve yer çekimi ivmesini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız. Cismin yatayla yaptığı açıyı değiştirerek menzilini, uçuş süresini ölçerek sonuçlarını Tablo V'e kaydediniz.



Görsel III

Tablo V

İlk Hız (m/s)	Açı	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)	Kütle (kg)	Menzil (m)	Uçuş Süresi (s)
10	15	10	5		
10	30	10	5		
10	45	10	5		
10	60	10	5		
10	75	10	5		

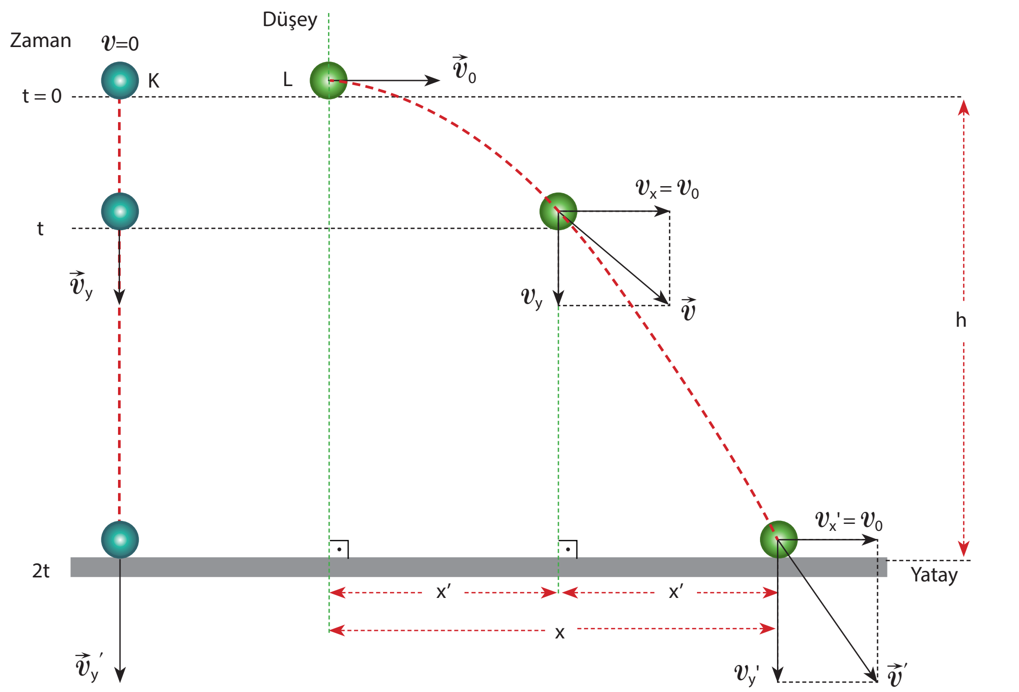
Değerlendirme

1. Cismin atış hızının değişmesi menzilini ve uçuş süresini ne şekilde etkilemiştir?
2. Cismin atış yüksekliğinin değişmesi menzilini ve uçuş süresini ne şekilde etkilemiştir?
3. Yer çekimi ivmesinin değişmesi cismin menzilini ve uçuş süresini ne şekilde etkilemiştir?
4. Cismin hareketi boyunca hız vektörünün yatay bileşeninin değişmemesinin nedeni nedir?
5. Cismin yatay atış hareketi boyunca hız vektörünün düşey bileşeninin değişmesinin nedeni nedir?
6. Cismin yatay düzlemle yaptığı açının değiştirilmesi menzilini ve uçuş süresini nasıl etkilemiştir?
7. Hangi durumlarda menziller eşittir? Bu eşitliğin nedeni ne olabilir?
8. Eğik atış hareketi ile yatay atış hareketinin özelliklerini karşılaştırınız.

ARAŞTIRMA KONUSU

Günlük hayatta karşılaştığınız iki boyutta hareket eden cisimleri inceleyerek hareketlerini yorumlayınız.

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden belli bir yükseklikten yatay olarak atılan cisim, atıldığı andan itibaren yalnızca çekim kuvveti etkisinde kalır. Bu etki altındaki cisim, düşey doğrultuda sabit ivmeli hareket yapar. Cisme atış anından sonra yatay doğrultuda etki eden herhangi bir kuvvet olmadığı için cisim sabit hızlı hareket yapar. Cisim aynı anda hem yatay hem düşey düzlemde hareket ettiği için cismin yaptığı hareket, bileşik harekettir.



Şekil 1.42: Serbest düşen cisim ile yatay atılan cismin hareketlerinin karşılaştırılması

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda aynı anda aynı yükseklikten serbest düşmeye bırakılan K bilyesi ile yatay olarak atılan L bilyesinin eşit zaman aralıklarında bulundukları konumlar Şekil 1.42'deki gibi olur. K ve L bilyeleri, t ve 2t anlarında aynı yatay düzlemdedir. Bu durum, L bilyesinin düşey doğrultuda yaptığı hareketin serbest düşme hareketiyle aynı olduğunu gösterir. L bilyesine yatayda bir kuvvet etki etmediği için yatay düzlemde sabit hızda hareket eder. Her t zaman aralığında yatay düzlemde aldığı yolların (x') birbirine eşit olması cismin yatay hızının sabit olduğunu gösterir. Bu durumda cisim, yatay düzlemde düzgün doğrusal hareket yaparken düşey düzlemde serbest düşme hareketi yapar. Bu nedenle cismin izlediği yol, parabolik olur.

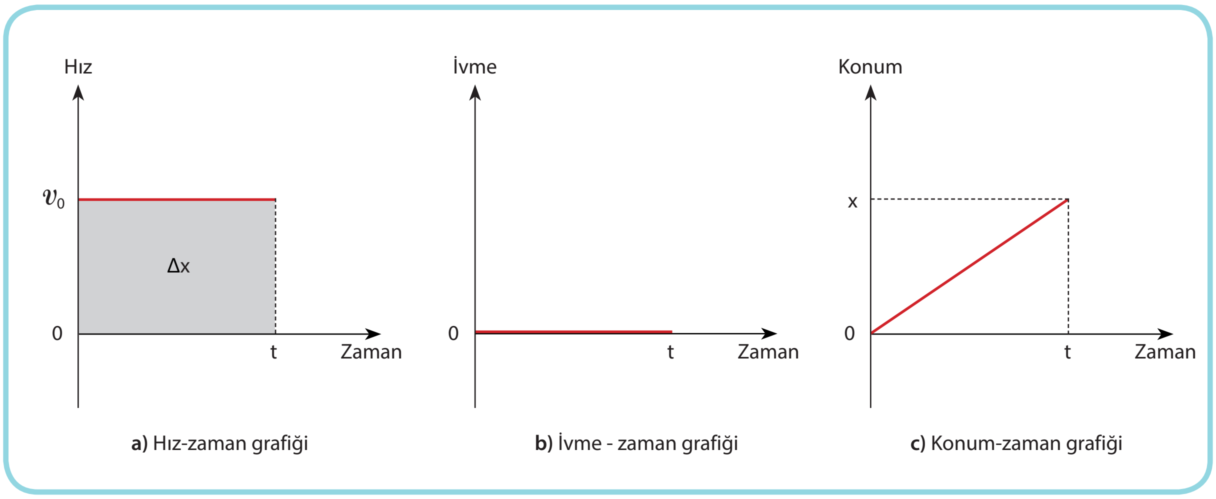
Cismin atılması ile yere düşmesi arasındaki geçen süre uçuş süresidir. Cismin düşey düzlemdeki hareketi serbest düşme hareketi olduğu için uçuş süresini yerden yükseklik belirler. Yatay hızın büyüklüğü hareket süresini etkilemez. Cismin yatay hızının değiştirilmesi sadece cismin yatay düzlemde düşeceği yeri değiştirir.

Cisim iki boyutta hareket ettiği için yatay ve düşey düzlemdeki hareketleri ayrı ayrı değerlendirilerek incelenir. Yatay ve düşey eksenler üzerindeki hareketler birbirinden bağımsız olarak ele alındığında harekete ait denklemler Tablo 1.9'daki gibi olur.

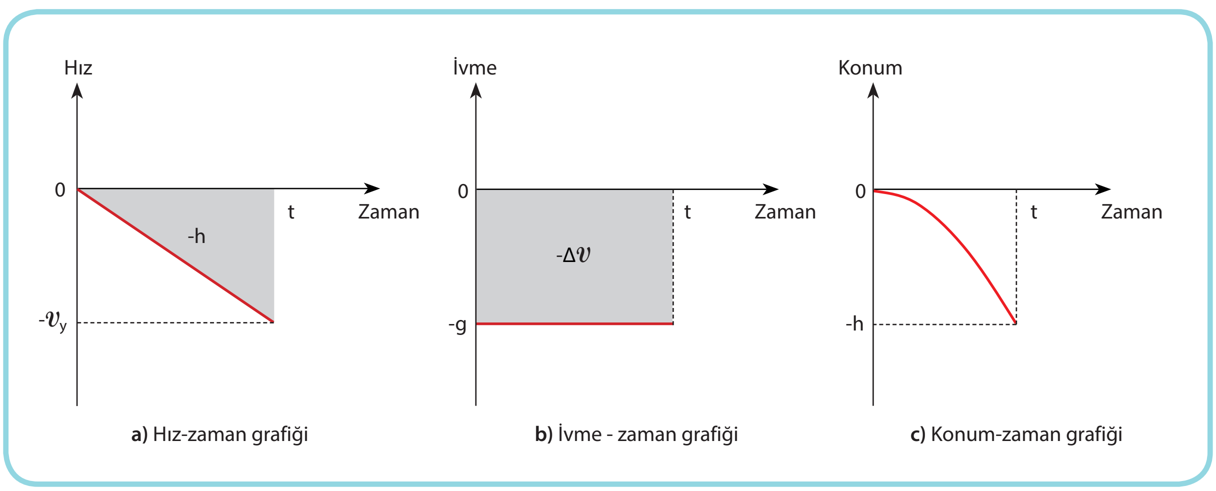
Tablo 1.9: Yatay Atış Hareketi Yapan Cismin Hareket Denklemleri

Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri	Yataydaki Harekete Ait Yer Değiştirme Denklemleri	Cismin Herhangi Bir Andaki Hız Büyüklüğü
$\vec{\upsilon} = \vec{g} \cdot t$	$\Delta\vec{x} = \vec{\upsilon}_0 \cdot t$	$\vec{\upsilon}_x = \vec{\upsilon}_0$ $\vec{\upsilon}_y = \vec{g} \cdot t$ $\vec{\upsilon}_x$ ve $\vec{\upsilon}_y$ dik olduğundan $\upsilon^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2$
$\vec{h} = \frac{1}{2}\vec{g} \cdot t^2$		
$\upsilon^2 = 2\vec{g} \cdot \Delta\vec{h}$		

Yatay atış hareketine ait grafikler, yatayda sabit hızlı harekete ve düşeyde serbest düşme hareketine ait grafiklerle aynı özellikleri taşır. Yerden h kadar yükseklikten υ_0 büyüklüğünde yatay hızla harekete başlayan cisim, t süre sonra yere düşer. Aşağı yön (-) seçilirse cismin yatay doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.11'deki gibi olur. Cismin düşey doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.12'deki gibi olur.



Grafik 1.11: Yatay atış hareketi yapan cismin yatay doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri



Grafik 1.12: Yatay atış hareketi yapan cismin düşey doğrultudaki hareketine ait hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri

56. ÖRNEK

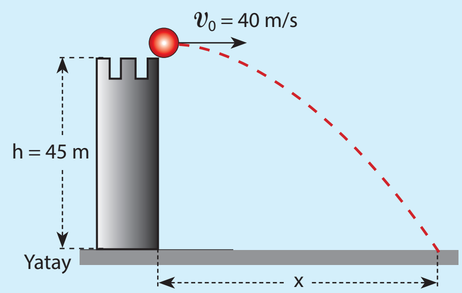
Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim, yüksekliği 45 m olan kuleden 40 m/s büyüklüğünde hızla yatay olarak atılmaktadır.

Buna göre

a) Cismin uçuş süresi kaç s olur?

b) Cisim yere düşene kadar yatay doğrultuda kaç m yol alır?

c) Cismin yere çarpma hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
($g = 10\ m/s^2$ alınız.)



ÇÖZÜM

a) Cisim düşey düzlemde serbest düşme hareketi yaptığı için uçuş süresi

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \Longrightarrow 45 = \frac{1}{2} \cdot 10t^2 \Longrightarrow 45 = 5t^2 \Longrightarrow t^2 = 9 \Longrightarrow t = 3 \text{ s olur.}$$

b) Cisim yatay düzlemde düzgün doğrusal hareket yaptığı için aldığı yol

$$x = \upsilon_0 \cdot t \Longrightarrow x = 40 \cdot 3 \Longrightarrow x = 120 \text{ m olur.}$$

c) Cismin yere çarptığı andaki yatay hızı, atış hızı olduğundan

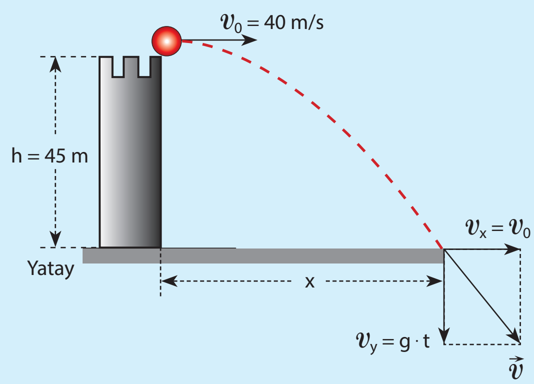
$\upsilon_x = \upsilon_0 = 40$ m/s olur.

Düşey düzlemdeki hızı

$\upsilon_y = g \cdot t \Longrightarrow \upsilon_y = 10 \cdot 3 \Longrightarrow \upsilon_y = 30$ m/s olur.

Cismin yere çarpma hızı Pisagor bağıntısına göre

$\upsilon^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 \Longrightarrow \upsilon^2 = 40^2 + 30^2 \Longrightarrow \upsilon^2 = 1\,600 + 900 \Longrightarrow \upsilon^2 = 2\,500 \Longrightarrow \upsilon = 50$ m/s olur.



52. ALIŞTIRMA

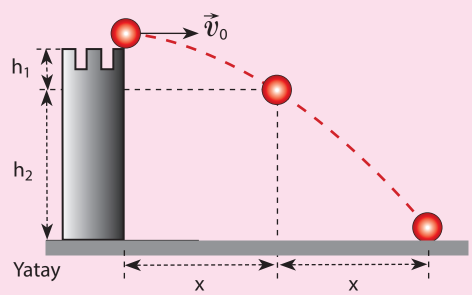
Hava direncinin ihmal edildiği ortamda belli bir yükseklikten $\vec{\upsilon}_0$ hızıyla yatay olarak atılan cismin eşit zaman aralıklarında bulunduğu konumlar şekildeki gibidir.

Buna göre

a) Cismin eşit zaman aralıklarında yatayda aldığı yollar neden eşittir? Açıklayınız.

b) Cismin eşit zaman aralıklarında düştüğü yükseklikler neden eşit değildir? Açıklayınız.

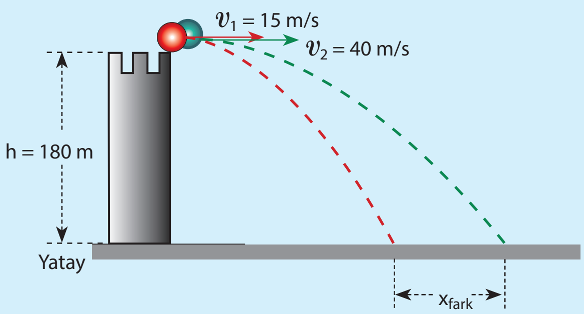
c) Cismin daha uzağa düşmesi için neler yapılabilir?



ÇÖZÜM



57. ÖRNEK



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden 180 m yükseklikteki kuleden iki cisim aynı yükseklikten 15 m/s ve 40 m/s büyüklüğünde hızlarla aynı yönde yatay olarak atılmıştır.

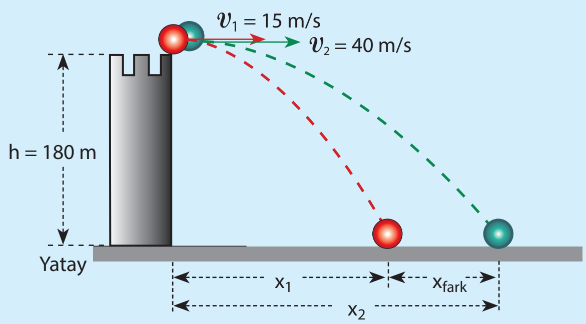
Buna göre cisimler yere düştüğünde aralarındaki uzaklık kaç m olur? (g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

Cisimler aynı yükseklikten atıldıkları için hareket süreleri aynıdır. Hareket süresi

$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \Longrightarrow 180 = \frac{1}{2} 10 \cdot t^2 \Longrightarrow t^2 = 36$

t = 6 s olur.



15 m/s'lik hızla atılan cismin yataydaki yer değiştirmesi

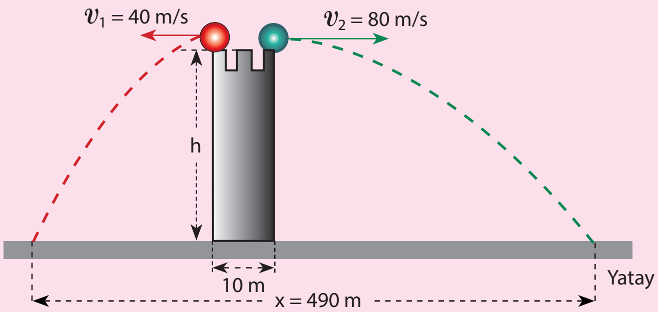
$x_1 = v_1 \cdot t \Longrightarrow x_1 = 15 \cdot 6 \Longrightarrow x_1 = 90$ m olur.

40 m/s'lik hızla atılan cismin yataydaki yer değiştirmesi

$x_2 = v_2 \cdot t \Longrightarrow x_2 = 40 \cdot 6 = 240$ m olur. Buna göre cisimlerin yere düştüğü noktalar arası uzaklık

$x_{fark} = x_2 - x_1 \Longrightarrow x_{fark} = 240 - 90 \Longrightarrow x_{fark} = 150$ m olur.

53. ALIŞTIRMA



10 m genişliğindeki kulenin karşılıklı iki noktasından iki cisim aynı yükseklikten 40 m/s ve 80 m/s büyüklüğünde hızlarla yatay olarak şekildeki gibi zıt yönlerde atılmıştır. İki cismin düştüğü noktalar arasındaki mesafe 490 m'dir.

Hava direnci ihmal edildiğine göre cisimlerin atıldığı yükseklik kaç m olur? (g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

54. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir helikopter, yeryüzünden 720 m yukarıda yatay olarak 40 m/s büyüklüğünde hızla uçmaktadır.

Bir cisim helikopterden, helikoptere göre ilk hızsız olarak bırakıldığına göre

a) **Cismin hareketinin yörüngesi çiziniz.**
b) **Cisim yere kaç s'de düşer?**
c) **Cisim, bırakıldığı andan yere düşene kadar yatay doğrultuda kaç m yol alır?** ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

B) EĞİK ATIŞ HAREKETİ

Bir futbolcu, serbest vuruş yaparak havalandırdığı topun düştüğü yerden daha uzağa gitmesi için neler yapmalıdır?

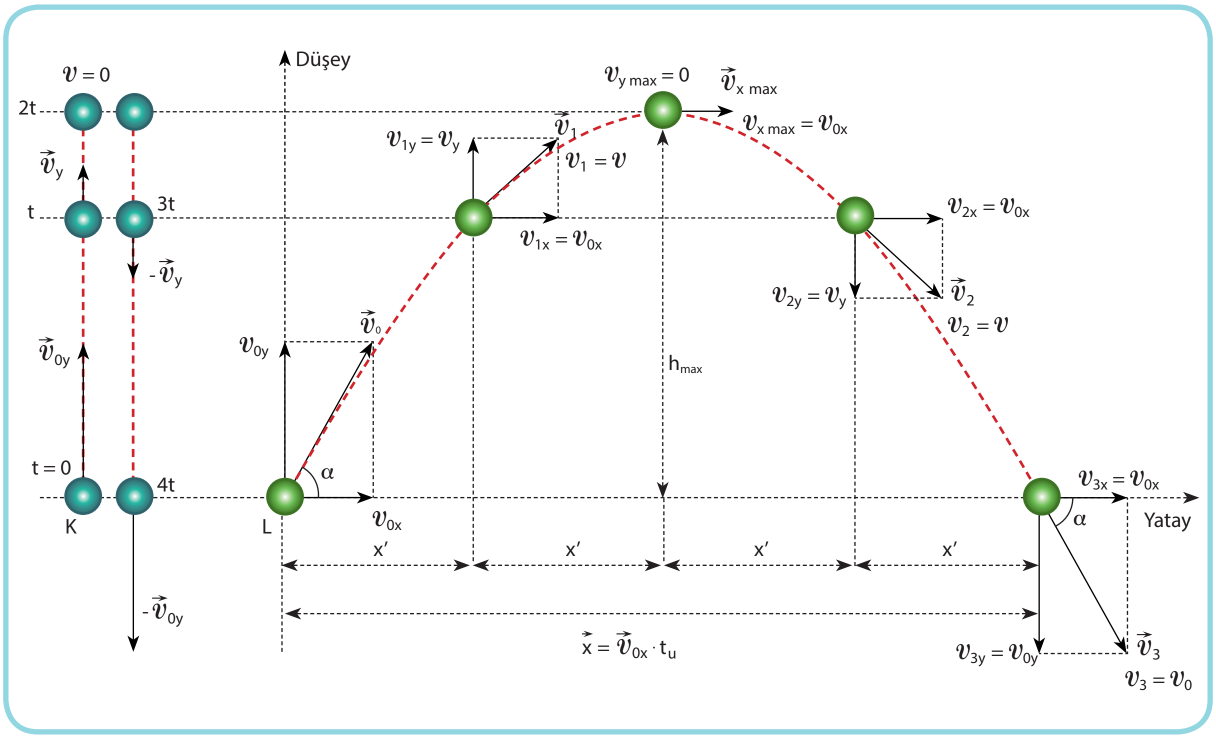
Yukarı Yönde Eğik Atış Hareketi

Eğik atış hareketi, yatay düzlemle açı yapacak şekilde atılan cismin hareketidir. Gülle, cirit ve disk atan sporcuların atış şekli, eğik atışa örnek verilebilir. Futbol, basketbol ve tenis toplarının hareketleri çoğunlukla eğik atış şeklindedir. Uzun atlama yapan sporcunun atladıktan sonra yere düşene kadar yaptığı hareket de eğik atışa örnek verilebilir (Görsel 1.8).



Görsel 1.8: Uzun atlama yapan sporcunun hareketi

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda eğik olarak atılan cisim, hem yatay hem de düşey doğrultuda ilerlediği için bileşik hareket yapar. Cisim atıldığı andan itibaren yalnızca çekim kuvveti etkisinde kalır. Çekim kuvveti etkisindeki cisim, düşey yukarı yönde çıkarken düşey hızı düzgün azalır ve bir süre sonra sıfır olur. Bu nedenle cisim daha fazla yükselemez. Çıkabileceği maksimum yüksekliğe ulaşmış olur. Cismin çıkabileceği maksimum yükseklikte sadece yatay hızı kalır ve cisim yine çekim kuvveti etkisi ile yatay atış hareketi yaparak aşağıya iner. Hareket süresince yatay doğrultuda cisme etki eden herhangi bir kuvvet olmadığı için cisim yatay doğrultuda sabit hızlı hareket eder.



Şekil 1.43: Yukarı yönde düşey atılan cismin hareketi ile yukarı yönde eğik atılan cismin hareketinin karşılaştırılması

v_{oy} büyüklüğünde hızla K bilyesi düşey yukarı yönde atıldığı anda L bilyesi v_o büyüklüğünde ilk hızla yatay düzlemle α açısı yapacak şekilde eğik olarak atılmıştır. Eğik atılan cismin hızının düşey bileşeninin v_{oy} kadar olması durumunda K ve L cisimlerinin eşit zaman aralıklarında bulunduğu konumlar Şekil 1.43'teki gibi olur.

Eğik atış hareketinde cisim aynı düzleme düşerse çıkış süresi ($t_ç$) ile iniş süresi (t_i) eşittir. Buna göre uçuş süresi (t_u)

$t_u = 2t_ç = 2t_i$ olur.

K ve L bilyeleri t, 2t, 3t ve 4t anlarında aynı yatay düzlemdedir. Bu durum, L bilyesinin düşey doğrultuda yaptığı hareketin yukarıya doğru düşey atış hareketiyle aynı olduğunu gösterir. Yatay doğrultuda düzgün doğrusal hareket yapan L cismi, eşit zaman aralıklarında eşit miktarda yol alır (x'). Yukarı yönde eğik atış hareketi yapan cisim, maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra yatay atış hareketiyle aynı hareketi yapar. Eğik olarak atılan bir cismin izlediği yol paraboliktir.

Cismin hareket boyunca yatay doğrultuda aldığı en uzun mesafeye **menzil** (x) denir. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda eğik olarak atılan cismin yükselirken ve düşerken aynı yüksekliklerdeki hız büyüklükleri eşittir.

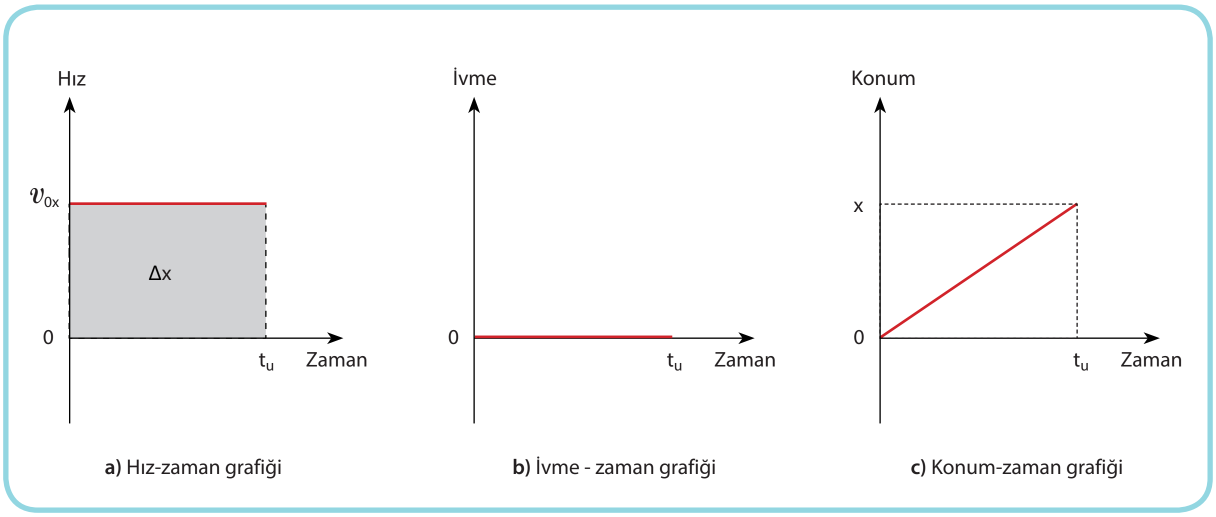
Eğik atış hareketine ait grafikler; yatay düzlemde sabit hızlı harekete, düşey düzlemde yukarıya doğru düşey atış hareketine ait grafiklerle aynı özellikleri taşır. v_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan cisim, $t_ç$ çıkış süresinde maksimum yüksekliğe (h_{max}) ve t_i iniş süresinde de atıldığı yüksekliğe ulaşır.

Eğik atış hareketi, yatay ve düşey eksenler üzerinde ve birbirinden bağımsız olarak ele alınıp incelenir. Aşağı yön negatif alındığında harekete ait denklemler Tablo 1.10'da gösterildiği gibidir.

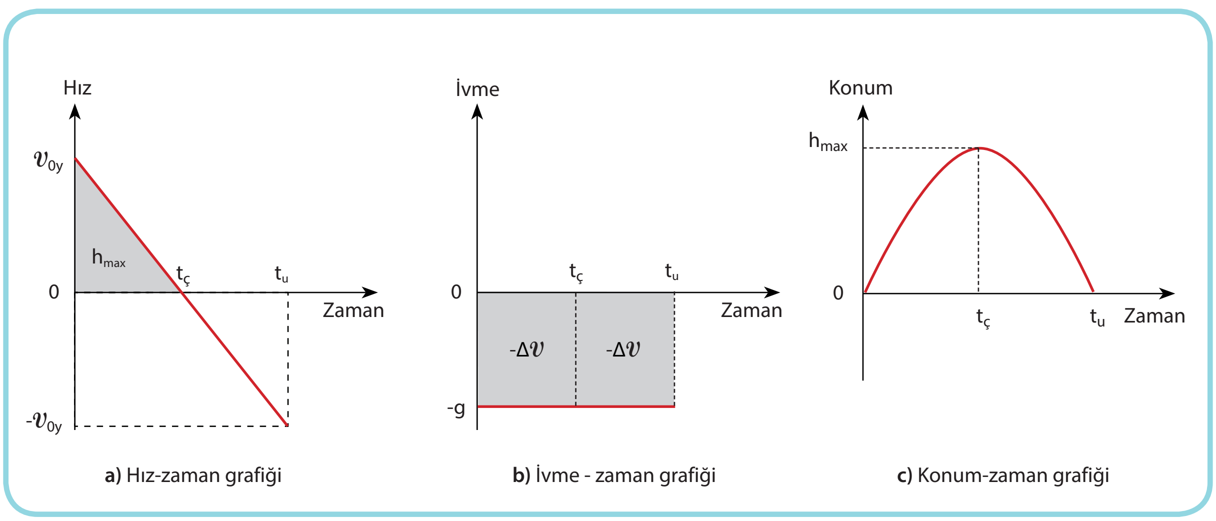
Tablo 1.10: Yukarı Yönde Eğik Atış Hareketi Yapan Cismin Hareket Denklemleri

Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri	Yataydaki Harekete Ait Yer Değiştirme Denklemleri	Herhangi Bir Andaki Hız Büyüklüğü
$\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} - \vec{g} \cdot t_{\text{ç}}$	$\Delta\vec{x}_{menzil} = \vec{v}_{0x} \cdot t_u$	$\vec{v}_x = \vec{v}_{0x}$ $\vec{v}_y = \vec{v}_{0y} - \vec{g} \cdot t$ $v^2 = v_x^2 + v_y^2$
$\vec{h}_{max} = \vec{v}_{0y} \cdot t_{\text{ç}} - \frac{1}{2}\vec{g} \cdot t_{\text{ç}}^2$		
$v_y^2 = v_{0y}^2 - 2\vec{g} \cdot \Delta\vec{h}$		

Eğik atış hareketinde aşağı doğru olan yön (-) seçilerek hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri çizildiğinde Grafik 1.13 ve Grafik 1.14'teki gibi olur.



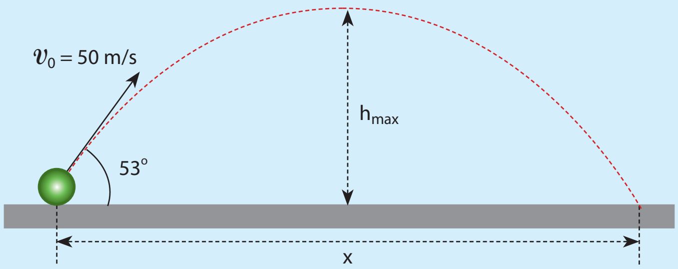
Grafik 1.13: Eğik atış hareketinde yatay doğrultudaki hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri



Grafik 1.14: Eğik atış hareketinde düşey doğrultudaki hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri

58. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim, 50 m/s büyüklüğünde hızla ve yatayla 53° açı yapacak biçimde şekildeki gibi atılmaktadır.



Buna göre

a) Cismin maksimum yükseklikteki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

b) Cismin maksimum yüksekliğe çıkış süresi kaç s olur?

c) Cismin uçuş süresi kaç s olur?

ç) Cismin çıkabileceği maksimum yükseklik kaç m olur?

d) Cismin menzili kaç m olur? (sin 53° = 0,8; cos 53° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

a) $v_{0x} = v_0 \cdot \cos 53°$

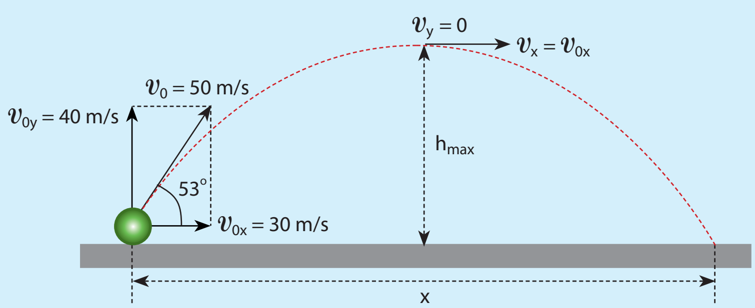
$v_{0x} = 50 \cdot 0,6$

$v_{0x} = 30$ m/s

$v_{0x} = v_0 \cdot \sin 53°$

$v_{0x} = 50 \cdot 0,8$

$v_{0x} = 40$ m/s



Maksimum yükseklikte v_{oy} sıfır olur ve cismin hızı $v_{ox} = 30$ m/s olur.

b) Cisim maksimum yüksekliğe çıktığında cismin hızının düşey bileşeni sıfır olur. Bu durumda cismin maksimum yüksekliğe çıkış süresi

$v_y = v_{0x} - g \cdot t_ç$

$0 = v_{0x} - g \cdot t_ç \Longrightarrow v_{0y} = g \cdot t_ç \Longrightarrow 40 = 10 \cdot t_ç \Longrightarrow t_ç = 4$ s olur.

c) Cismin uçuş süresi, maksimum yüksekliğe çıkış süresinin iki katına eşit olacağından

$t_u = 2t_ç = 2t_i \Longrightarrow t_u = 2 \cdot 4 \Longrightarrow t_u = 8$ s olur.

ç) Cisim maksimum yüksekliğe çıktıktan sonra düşey doğrultuda serbest düşme hareketi yapar. Bu durumda cismin çıkabileceği maksimum yükseklik

$h = \frac{1}{2} g \cdot t_i^2$

$h = \frac{1}{2} 10 \cdot 4^2 \Longrightarrow h = 5 \cdot 16 \Longrightarrow h = 80$ m olur.

d) Eğik atılan cisim yatay doğrultuda sabit hızlı hareket yapacağından cismin menzili

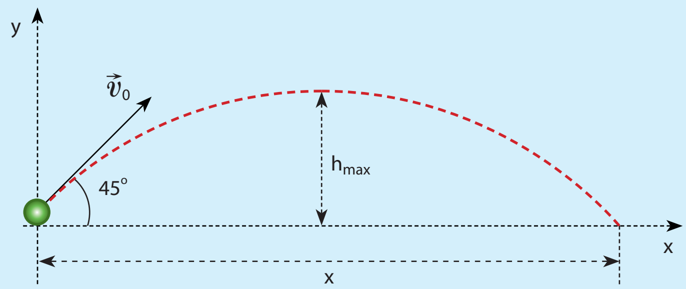
$x = v_{0x} \cdot t_u \Longrightarrow x = 30 \cdot 8 \Longrightarrow x = 240$ m olur.

59. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatay düzlemdeki cisim, yatayla 45° açı yapacak şekilde $\vec{v}_0$ hızıyla atılmıştır.

Buna göre cismin menzili ile çıkabileceği maksimum yükseklik arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

($\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ve $\cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ alınız.)

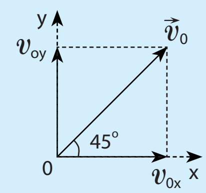


ÇÖZÜM

Yatayla yapılan açı 45° ise

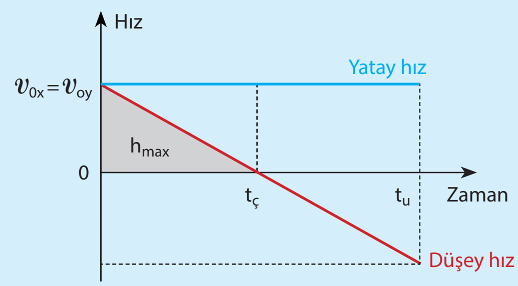
$v_{ox} = v_o \cdot \cos 45° \Longrightarrow v_{oy} = v_o \cdot \sin 45°$ olur.

$\cos 45° = \sin 45°$ olduğundan $v_{ox} = v_{oy}$ olur.



Cisim uçuş süresince yatay düzlemde düzgün doğrusal hareket yapar. Düşeyde ise çıkış süresince düzgün yavaşlar, iniş süresince ise ters yönde düzgün hızlanır. Buna göre yatay ve düşey hızlara ait hız-zaman grafikleri şekillerdeki gibi olur.

Cisme ait çıkış grafiği ile yatay eksen arasında kalan alan h_{max} yüksekliğini verir. Cismin yatay hareketinin grafiği ile yatay eksen arasında kalan alan ise cismin menzilini verir. Cismin menzili x alınırsa $x = 4h_{max}$ olur.



55. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamdaki bir bilye yerden yatay düzlemle 45° açı yapacak şekilde $20\sqrt{2}$ m/s büyüklüğünde hızla fırlatılmıştır.

Bilye tekrar yer seviyesine düştüğüne göre

a) Bilyenin uçuş süresi kaç s olur?

b) Bilyenin çıkabileceği maksimum yükseklik kaç m olur?

c) Bilyenin hareketi boyunca sahip olacağı en küçük hız değeri kaç m/s olur?

ç) Bilye yatay doğrultuda kaç m uzağa düşer? ($\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $\cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ve $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

56. ALIŞTIRMA

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir hava balonu yukarı doğru 30 m/s büyüklüğündeki sabit hızla yükselmektedir. Balon yerden 80 m yükseklikteyken balondaki yolcu elindeki cismi balona göre 40 m/s büyüklüğündeki hızla yatay olarak atmaktadır.

Buna göre

a) Cisim kaç s yükselir?

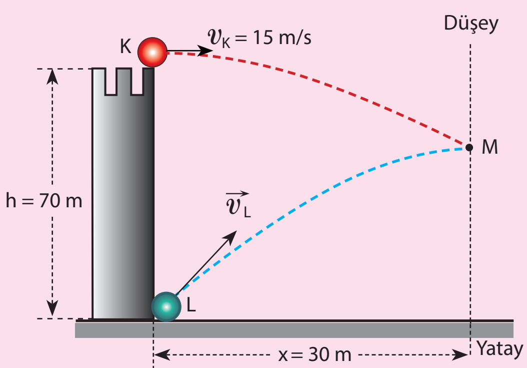
b) Cisim yerden maksimum kaç m yükselir?

c) Cisim kaç s sonra yere düşer?

ç) Cisim yatay doğrultuda kaç m uzağa düşer? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

57. ALIŞTIRMA



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda K ve L cisimleri 70 m yüksekliğindeki kulenin alt ve üst ucundan $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ hızlarıyla şekildeki gibi aynı anda atılmıştır. 15 m/s büyüklüğünde hızla yatay olarak atılan K cismi, L cismiyle M noktasında çarpışmakta ve cisimler çarpışana kadar yatayda 30 m yol almaktadır.

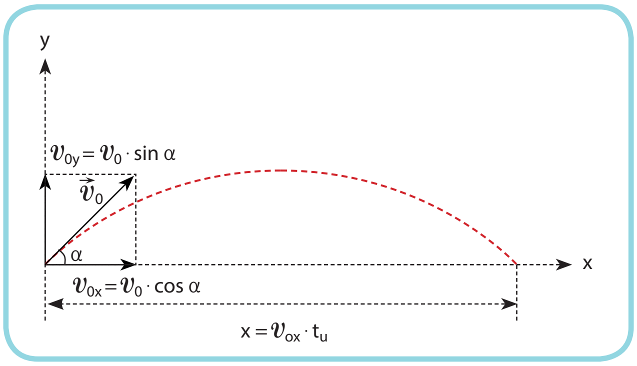
Buna göre

a) Cisimler kaç s sonra çarpışır?

b) Cisimler yerden kaç m yüksekte çarpışır?
($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Bir cisim yatayla yukarı yönde α kadar açıyla ve $\vec{v}_0$ ilk hızıyla atılırsa Şekil 1.44'teki gibi bir yol izler. Cismin maksimum yüksekliğe çıkış süresi $t_ç$, uçuş süresi t_u alınır ve harekette menzilin (x) bağlı olduğu değişkenler incelenirse



Şekil 1.44: Yukarı yönde eğik atılan cismin menzili

$$v_{0y} = g \cdot t_ç \Longrightarrow t_ç = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \cdot \sin\alpha}{g}$$

$$t_u = 2\frac{v_0 \cdot \sin\alpha}{g}$$ bulunur. Menzili (atış uzaklığı)

$$x = v_{0x} \cdot t_u$$

$$x = (v_0 \cdot \cos\alpha) \cdot (2\frac{v_0 . \sin\alpha}{g})$$

$$x = \frac{v_0^2 (2 \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha)}{g}$$

$$x = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$ olur.

Cismin menzili sin 2α ile doğru orantılıdır. Sinüs fonksiyonunun en büyük değeri olan sin 90° = 1'dir. Buna göre en büyük menzil için 2α = 90° ve α = 45° olur.

İki cisim yatayla yukarı doğru farklı α_1, α_2 açılarıyla ve aynı büyüklükteki hızlarla atıldığında atış uzaklıkları eşitse

$$x_1 = x_2$$

$$\frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha_1}{g} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha_2}{g}$$

$\sin 2\alpha_1 = \sin 2\alpha_2$ olur.

Birbirini 180° ye tamamlayan açıların sinüs değerleri birbirine eşittir. Buna göre

$2\alpha_1 + 2\alpha_2 = 180° \Longrightarrow \alpha_1 + \alpha_2 = 90°$ olur.

Buradan iki önemli sonuç elde edilir:

a) Cisim yatayla yukarı yönde 45° açı yapacak şekilde atıldığında maksimum menzile sahip olur. Buna göre hız büyüklüğü değiştirilmeden yatayla yukarı yöndeki atış açısı 0° den 45° ye kadar büyüdükçe atış uzaklığı da büyür, 45° den 90° ye kadar ise küçülür.

b) Cisim, aynı büyüklükteki hızlarla birbirini 90° ye tamamlayan açılarla atılırsa yatayda aynı atış uzaklığına sahip olur.

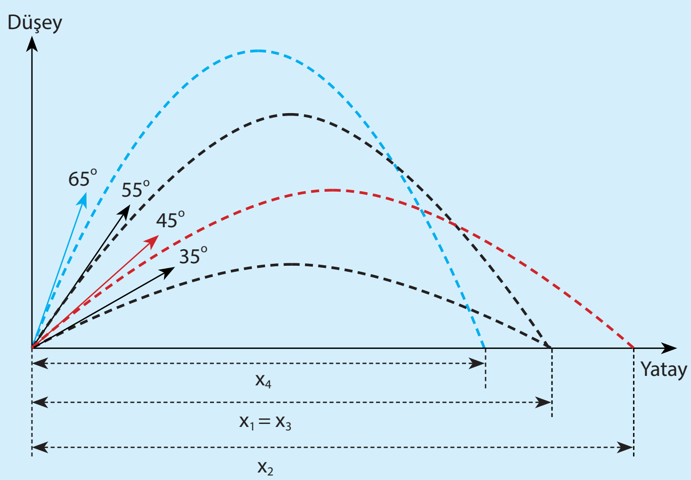
60. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerdeki cisimler, aynı büyüklükte hızla yatayla yukarı yönde 35°, 45°, 55° ve 65° açı yapacak biçimde atılmıştır. Cisimlerin atış uzaklıkları sırasıyla x_1, x_2, x_3 ve x_4'tür.

Buna göre cisimlerin menzillerinin büyüklüklerinin sıralaması nedir?

ÇÖZÜM

Aynı büyüklükteki hızlarla atılan cismin yatayla yaptığı açı büyüdükçe hızın düşey bileşeni de büyür. Bu durumda cismin çıkış süresi ve çıkabileceği maksimum yükseklik artar. Atış açısı ile 45° arasındaki fark büyüdükçe cismin menzili küçülür. Bu durumda 35°, 45°, 55° ve 65° açı ile atılan cisimlerin izleyeceği yörüngeler şekildeki gibi olur. Buna göre

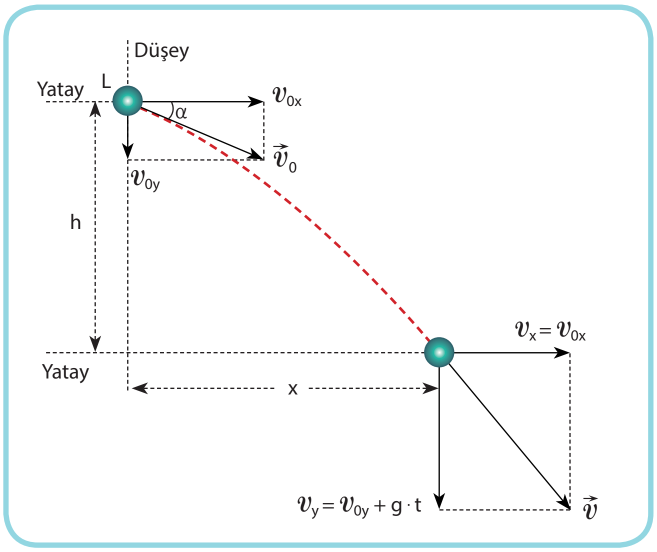


$x_2 > x_1 = x_3 > x_4$ şeklinde olur.

Aşağı Yönde Eğik Atış Hareketi (Pike Atış)

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatayla α açısı yapacak şekilde aşağı yönde eğik olarak atılan cisim, hem yatay hem de düşey doğrultuda ilerler (Şekil 1.45). Cisim atıldığı andan itibaren yalnızca çekim kuvveti etkisinde kalır. Cismin düşey doğrultuda ilk hızı υ_{oy} büyüklüğünde olan düşey atış hareketi ile aynı hareketi yapar. Hareket süresince yatay doğrultuda cisme etki eden herhangi bir kuvvet yoktur. Bu nedenle cisim yatay doğrultuda υ_{ox} büyüklüğünde hızla sabit hızlı hareket yapar.

İki boyuttaki hareket yatay ve düşey eksenler üzerinde ve birbirinden bağımsız olarak ele alınıp incelenir. Bu durumda harekete ait denklemler Tablo 1.11'de gösterilmiştir.

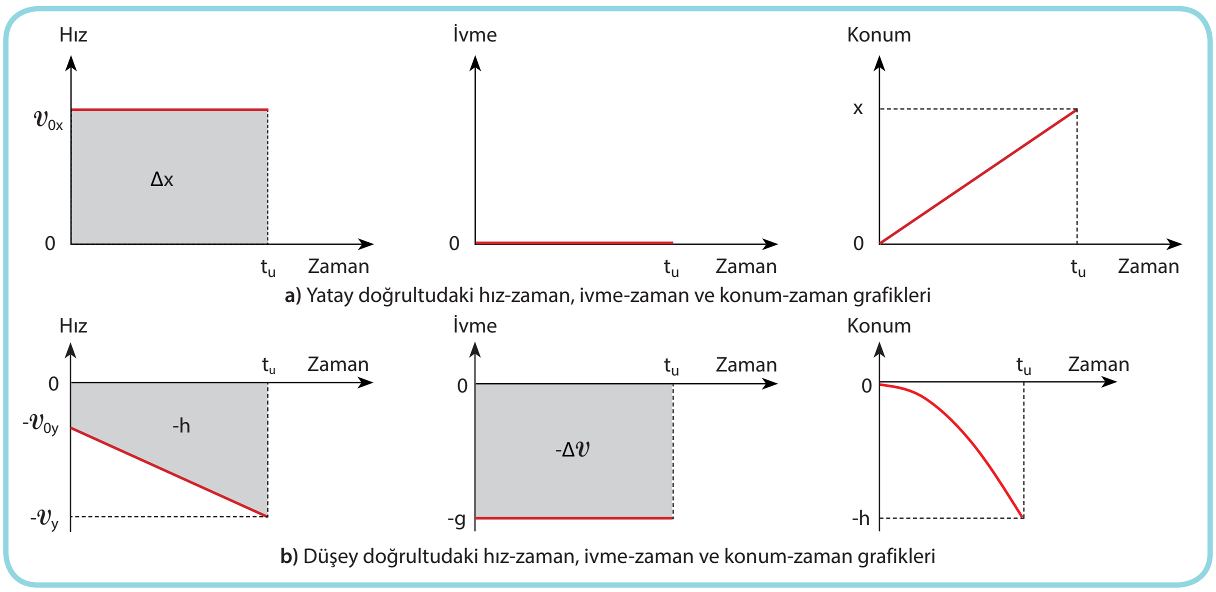


Şekil 1.45: Aşağı yönde eğik atış hareketi

Tablo 1.11: Aşağı Yönde Eğik Atış Hareketi Yapan Cismin Hareket Denklemleri

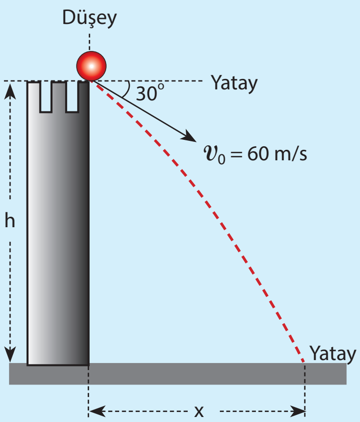
Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri	Yataydaki Harekete Ait Yer Değiştirme Denklemleri	Herhangi Bir Andaki Hız Büyüklüğü
$\vec{\upsilon}_y = \vec{\upsilon}_{0y} + \vec{g} \cdot t$	$\Delta\vec{x} = \vec{\upsilon}_{0x} \cdot t$	$\vec{\upsilon}_x = \vec{\upsilon}_{0x}$ $\vec{\upsilon}_y = \vec{\upsilon}_{0y} + \vec{g} \cdot t$ $\upsilon^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2$
$\vec{h} = \vec{\upsilon}_{0y} \cdot t_ç + \frac{1}{2}\vec{g} \cdot t^2$		
$\upsilon_y^2 = \upsilon_{0y}^2 + 2\vec{g} \cdot \Delta\vec{h}$		

Aşağı yönde eğik atış hareketine ait grafikler yatayda sabit hızlı harekete ve düşeyde aşağıya doğru düşey atış hareketine ait grafik özellikleri taşır. Başlangıç noktası sıfır kabul edilen ve yerden h yüksekliğindeki noktadan υ_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan cisim t sürede yere düşer. Aşağı doğru olan yön (-) seçilirse hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.15'teki gibi olur.



Grafik 1.15: Aşağıya doğru eğik atış hareketi yapan cisme ait grafikler

61. ÖRNEK



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim kulenin tepesinden yatay düzlemle 30° açı yaparak aşağı yönde atılmıştır. h yüksekliğindeki kuleden 60 m/s büyüklüğünde hızla atılan cisim, yatay doğrultuda x kadar yol alarak 2 s'de yere ulaşmaktadır.

Buna göre

a) Cisim kaç m yüksekten atılmıştır?

b) Cisim yere düşene kadar yatay doğrultuda kaç m yol alır?

($\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$, $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ve $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

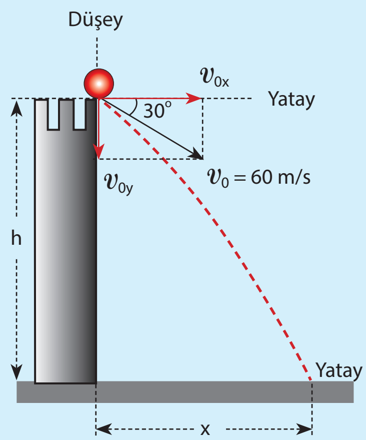
a) Cismin düşey hızı

$\upsilon_{0y} = \upsilon_0 \cdot \sin 30^\circ = 60\ \frac{1}{2} = 30$ m/s olur. Cisim 2 s'de yere ulaştığına göre kulenin yüksekliği

$h = \upsilon_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$

$h = 30 \cdot 2 + \frac{1}{2} 10 \cdot 2^2$

$h = 80$ m olur.



b) Cismin yatay hızı

$\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cdot \cos 30^\circ$

$\upsilon_{0x} = 60 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\upsilon_{0x} = 30\sqrt{3}$ m/s olur.

Cismin yatayda aldığı yol

$x = \upsilon_{0x} \cdot t$

$x = 30\sqrt{3} \cdot 2$

$x = 60\sqrt{3}$ m olur.

58. ALIŞTIRMA



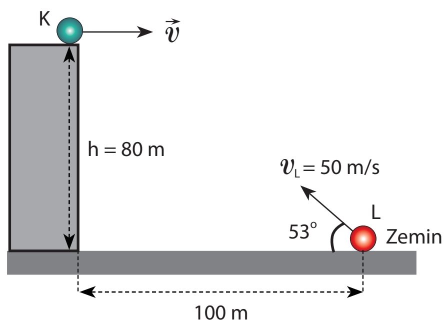
Bir geminin mahsur kaldığını öğrenen Afet Masası hazırladığı acil yardım paketlerini bir helikopter ile olay yerine ulaştırır. Helikopter durgun hâldeki gemiden h kadar yüksekte yatay olarak υ büyüklüğünde hız ile uçmaktadır.

Buna göre helikopterden bırakılacak paketlerin sadece serbest düşme hareketi yaparak gemi üzerine düşmesi için nereden ve nasıl bırakılması gerekir?

ÇÖZÜM

5. BÖLÜM SONU SORULARI

1. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda K cismi 80 m yükseklikteki duvarın üstünden $\vec{v}$ hızıyla yatay olarak atılmaktadır. Aynı anda L cismi de yerden 50 m/s büyüklüğünde hızla ve yatayla 53° açı yapacak şekilde eğik atılmaktadır.



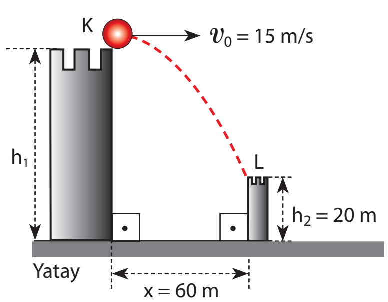
Cisimler bir süre sonra çarpıştığına göre

a) **Cisimler atıldıktan kaç s sonra çarpışma gerçekleşir?**

b) **Çarpışmanın olduğu noktanın zemine ve düşey duvara dik uzaklığı kaç m olur?**
(sin 53°=0,8; cos 53° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

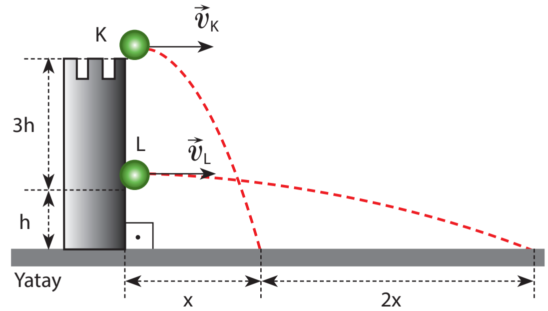
2. Hava direncinin ihmal edildiği ortamdaki iki kuleden biri h_1, diğeri 20 m yüksekliğe sahiptir ve iki kule arasındaki yatay uzaklık 60 m'dir. h_1 yüksekliğindeki kulenin K noktasından yatay olarak 15 m/s büyüklüğünde hızla atılan cisim, 20 m yüksekliğe sahip kulenin L noktasına düşmektedir.



Buna göre h_1 yüksekliği kaç m olur?
(g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

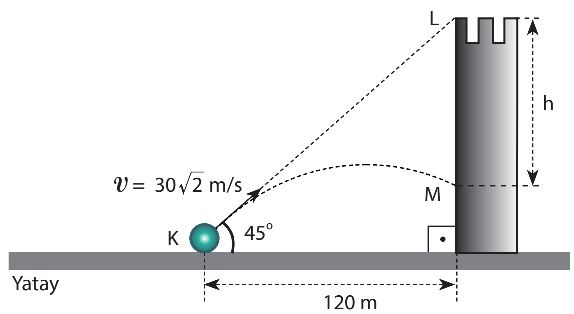
3. Hava direncinin ihmal edildiği ortamdaki K ve L cisimleri sırasıyla 4h ve h yüksekliğinden $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ hızlarıyla yatay olarak atılmaktadır. K cismi yatay düzlemde x, L cismi ise 3x uzaklığa düşmektedir.



Buna göre cisimlerin hızlarının büyüklükleri $\dfrac{v_K}{v_L}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

4. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim şekildeki gibi K noktasından L noktasına doğru yatayla 45° lik açı yapacak şekilde ve $30\sqrt{2}$ m/s büyüklüğünde hızla atılmıştır.



Cisim, 120 m uzaktaki kulenin M noktasına çarptığına göre

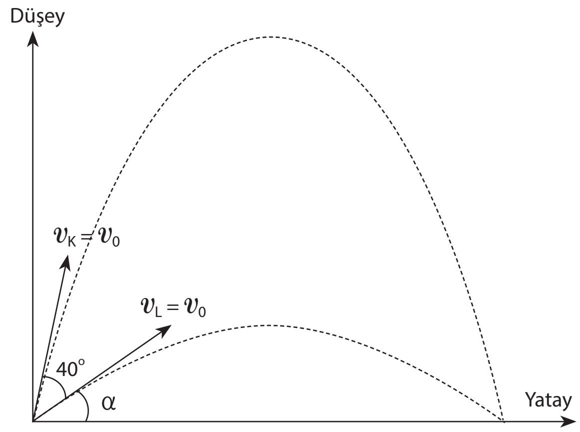
a) **Cisim atıldıktan kaç s sonra M noktasına çarpar?**

b) **LM arasındaki uzaklık h kaç m olur?**

c) **Cismin M noktasına çarpma hızının büyüklüğü kaç m/s olur?**
($\sin 45° = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$, $\cos 45° = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$ ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

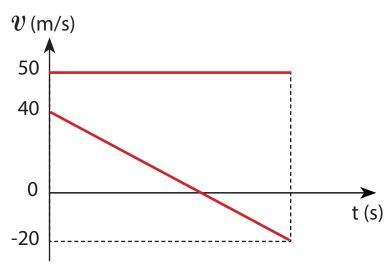
5. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda K ve L cisimleri aynı noktadan ve aynı büyüklükteki hızlarla şekildeki gibi eğik olarak atılmaktadır. L cismi yatayla α, K cismi (40 + α) açısı yapacak şekilde atıldığında cisimler aynı noktaya düşmektedir.



Buna göre α açısı kaç derecedir? (g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

6. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisim yer düzleminden, yatayla α açısı yapacak şekilde yukarı doğru fırlatılmaktadır. Cisim, hareketi sonunda bir duvarın üstüne düşmektedir. Cismin hareketi boyunca yatay ve düşey hızlarının zamanla değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

a) Cisim duvara yatay olarak kaç metre uzaktan atılmıştır?

b) Duvarın yüksekliği kaç metredir?
(g = 10 m/s^2 alınız.)

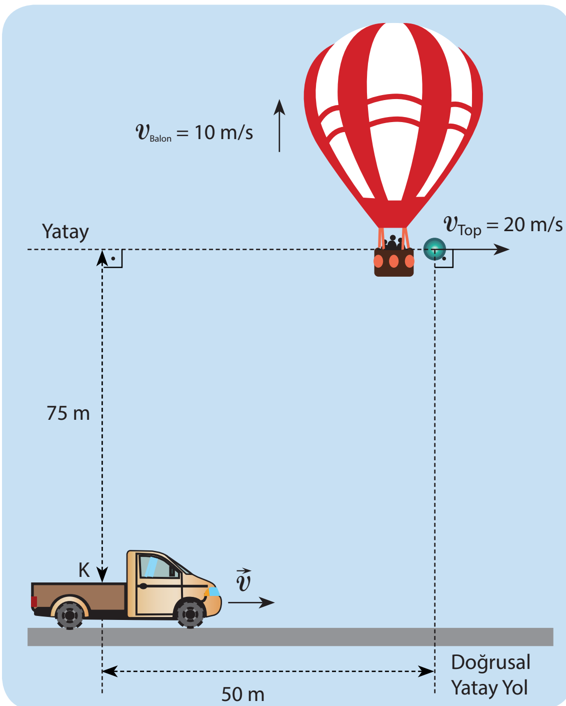
ÇÖZÜM

7. Hava direncinin ihmal edildiği ortamdaki bir cisim yatayla 37° açı yapacak şekilde aşağı yönde 50 m/s büyüklüğünde hızla atılmaktadır. Cisim, atıldığı noktanın düşeyinden 120 m uzakta yere düşmektedir.

Buna göre cisim kaç m yüksekten atılmıştır?
(sin 37°=0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

8. Bir hava balonu, hava direncinin ihmal edildiği ortamda 10 m/s büyüklüğünde sabit hızla yükselmektedir. Balondaki bir yolcu, şekildeki konumdayken yolda yere göre sabit $\vec{v}$ hızıyla ilerleyen bir kamyoneti fark etmiştir. Yolcu elindeki topu kamyonetin hareket yönünde ve balona göre 20 m/s büyüklüğünde hızla yatay olarak atmıştır.



Top kamyonetin K noktasına düştüğüne göre kamyonetin hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
(g = 10 m/s^2 alınız.)

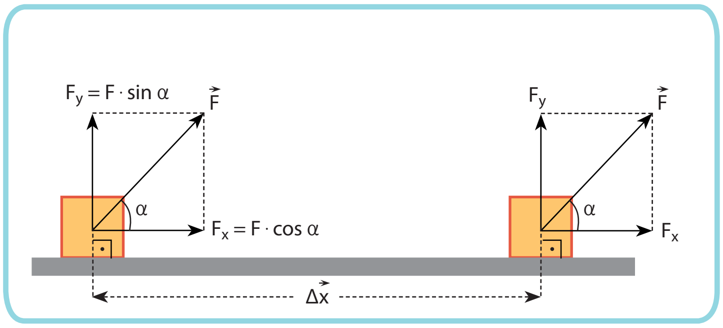
ÇÖZÜM

1.6. ENERJİ VE HAREKET

A) İŞ VE ENERJİ



Görsel 1.9: Valizin yatay düzlemle açı yapacak şekilde kuvvet uygulanarak çekilmesi



Şekil 1.46: Cismin yatay düzlemle açı yapacak şekilde kuvvet uygulanarak çekilmesi

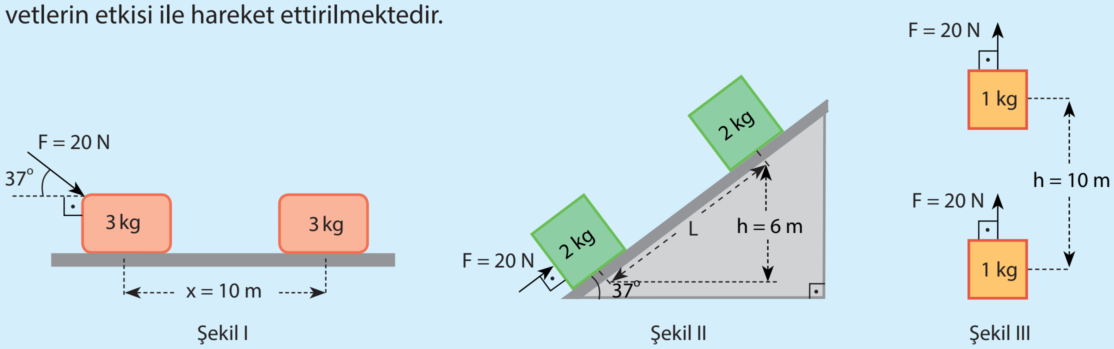
Fizikte iş yapmanın amacı enerji aktarmaktır. Görsel 1.9'da valize aktarılan enerjiyle valiz üzerinde iş yapılabilir. Bir cisme uygulanan kuvvetin iş yapabilmesi için cismin yer değiştireceği doğrultuda bir bileşene sahip olması ve kuvvet uygulanan cismin yer değiştirmesi gerekir. Enerji aktarımı yani iş yalnızca hareket doğrultusundaki kuvvetler tarafından yapılır. İş,

$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$ ile bulunur.

Bir cisme Şekil 1.46'daki gibi kuvvet, sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde yer değiştirme doğrultusuyla α açısı yapacak şekilde uygulanırsa yapılan iş $W = F \cdot \cos\alpha \cdot \Delta x$ ile ifade edilir.

62. ÖRNEK

Şekil I, II ve III'te sürtünmelerin ihmal edildiği sistemlerdeki yükler, 20 N büyüklüğündeki sabit kuvvetlerin etkisi ile hareket ettirilmektedir.



Buna göre kuvvetlerin yaptığı işler sırasıyla W_1, W_2 ve W_3 ise işlerin büyüklük sıralaması nedir?
(sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

Uygulanan kuvvetin yer değiştirme doğrultusundaki bileşeni iş yapar. Buna göre

$W_1 = F \cdot \cos\alpha \cdot x$

$W_1 = 20 \cdot \cos 37^\circ \cdot 10$

$W_1 = 20 \cdot 0{,}8 \cdot 10 = 160\ \text{J}$

$W_2 = F \cdot L$

$W_2 = 20\ \dfrac{6}{\sin 37^\circ}$

$W_2 = 20\ \dfrac{6}{0{,}6} = 200\ \text{J}$

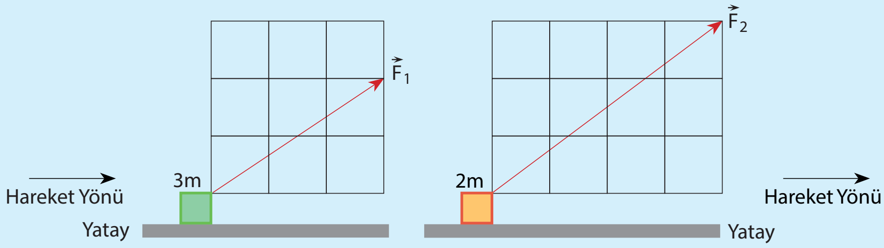
$W_3 = F \cdot h$

$W_3 = 20 \cdot 10 = 200\ \text{J}$

$W_1 < W_2 = W_3$ olur.

63. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemdeki hareketsiz cisimlere etki eden kuvvetler eşit kare bölmeli düzlemde gösterilmiştir. Şekil I'de 3m kütleli cisme $\vec{F}_1$ ve Şekil II'de 2m kütleli cisme $\vec{F}_2$ kuvveti eşit süre uygulanarak cisimler yatay düzlemde hareket ettirilmektedir.

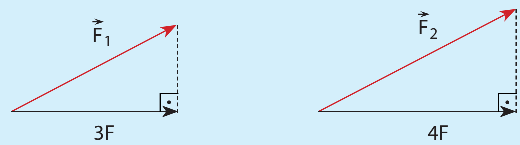


Şekil I Şekil II

Buna göre kuvvetlerin yaptığı işler sırasıyla W_1 ve W_2 ise $\frac{W_1}{W_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

Kuvvetlerin yer değiştirme doğrultusundaki bileşenleri $F_{1x} = 3F$ ve $F_{2x} = 4F$ kabul edilerek yapılan işlerin hesaplanabilmesi için cisimlerin yer değiştirmelerinin bulunması gerekir.



Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre

$F = m \cdot a$ bağıntısından

3m kütleli cisim için $3F = 3m \cdot a_1$

2m kütleli cisim için $4F = 2m \cdot a_2$

$a_1 = a$ ise $a_2 = 2a$ olur.

Sabit ivmeli hareketlerde yer değiştirmeler

$x_1 = \frac{1}{2} a \cdot t^2$

$x_2 = \frac{1}{2} 2a \cdot t^2$

$x_1 = x$ ise $x_2 = 2x$ olur.

Kuvvetlerin yaptığı iş

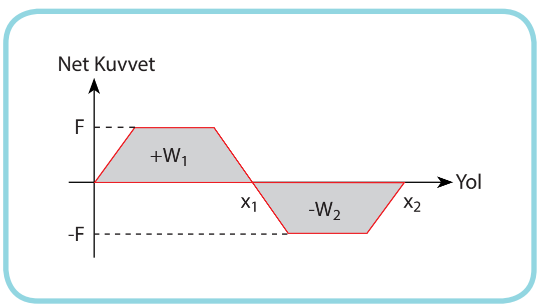
$W = F \cdot x$

$W_1 = 3F \cdot x$

$W_2 = 4F \cdot 2x$

$W_2 = 8F \cdot x$ olur.

Yapılan işlerin oranı $\frac{W_1}{W_2} = \frac{3F \cdot x}{8F \cdot x} = \frac{3}{8}$ olur.



Grafik 1.16: Cisme uygulanan net kuvvet-yol grafiği

Cisimlere uygulanan kuvvetlerin büyüklüğü ve uygulama yönü zamanla değişebilir. Bu durumda değişken kuvvetlerin yaptığı işi bulabilmek için cisimlere ait kuvvet-yol grafiklerinden faydalanmak kolaylık sağlar. Bu grafikte, grafik ile yatay eksen arasında kalan alan yapılan işe eşit olur (Grafik 1.16). Buna göre

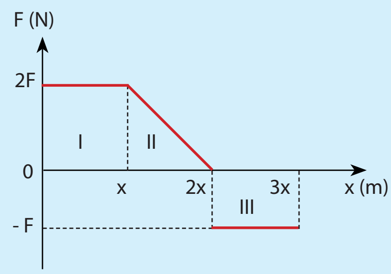
Alan = İş = $W = F \cdot \Delta x$ olur.

Kuvvet, sistemin hareketi yönünde uygulanırsa cismin enerjisini arttırır ve cisim üzerinde pozitif iş yapar. Kuvvet, sistemin hareketine zıt yönde uygulanırsa cismin enerjisini azaltır ve cisim üzerinde negatif iş yapar. Cisme farklı zaman aralıklarında uygulanan kuvvetlerin yaptığı işlerin cebirsel toplamı cisim üzerinde yapılan toplam işi verir. Buna göre

$W_{toplam} = W_1 + (-W_2)$ olur.

64. ÖRNEK

İlk hızı sıfır olan bir cisme etki eden net kuvvetin yola bağlı değişim grafiği verilmiştir.



Buna göre 0-3x yol aralığında yapılan toplam iş kaç F · x olur?

ÇÖZÜM

Grafik ve yatay eksen arasında kalan alanların cebirsel toplamı yapılan işi verir. I ve II. bölgelerde kuvvetler cisim üzerinde pozitif iş yaparak cismi hızlandırır. III. bölgede negatif iş yaparak cismi yavaşlatır.

I. bölgede alan $W_1 = 2F \cdot x$

II. bölgede alan $W_2 = \frac{2F \cdot x}{2} = F \cdot x$

III. bölgede alan $W_3 = -F \cdot x$

0-3x aralığında yapılan net iş, alanların cebirsel toplamı olduğundan

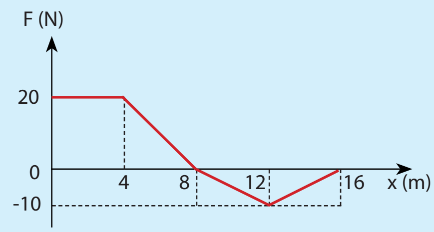
$W_{net} = W_1 + W_2 + W_3$

$W_{net} = 2F \cdot x + F \cdot x - F \cdot x$

$W_{net} = 2F \cdot x$ olur.

65. ÖRNEK

Bir cisme etki eden net kuvvet-yol grafiği verilmiştir.



Kuvvet etkisiyle hareket eden cisim üzerinde, 0-4 m yol aralığında yapılan iş W_1 ve 0-16 m yol aralığında yapılan iş W_2 olduğuna göre $\frac{W_1}{W_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

F-x grafiğinde yapılan iş, grafikle yatay eksen arasındaki alanların cebirsel toplamıdır.

0-4 m aralığında yapılan iş $W_1 = 20 \cdot 4 = 80$ J

0-16 m aralığında yapılan iş $W_2 = 20 \cdot 4 + \frac{20 \cdot 4}{2} - \frac{10 \cdot 4}{2} - \frac{10 \cdot 4}{2} = 80$ J olduğundan

$\frac{W_1}{W_2} = 1$ olur.

Hooke Yasası

Esnek cisimler, kuvvet etkisi ile şekil değiştirip serbest bırakıldıklarında eski denge durumlarına geri döner. Esnek cisimlerin denge durumuna dönmelerinin nedeni maddeyi oluşturan tanecikler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan **geri çağırıcı kuvvetler**dir. Ancak geri çağırıcı kuvvetler cismi her durumda eski hâline geri getirmez. Her maddenin kendine özgü bir esneklik sınırı vardır. Esneklik sınırlarının aşılması durumunda cisim eski hâline dönemez. Bu sınırların üzerinde uygulanan kuvvetler cismin esneklik özelliğinin bozulmasına neden olur.



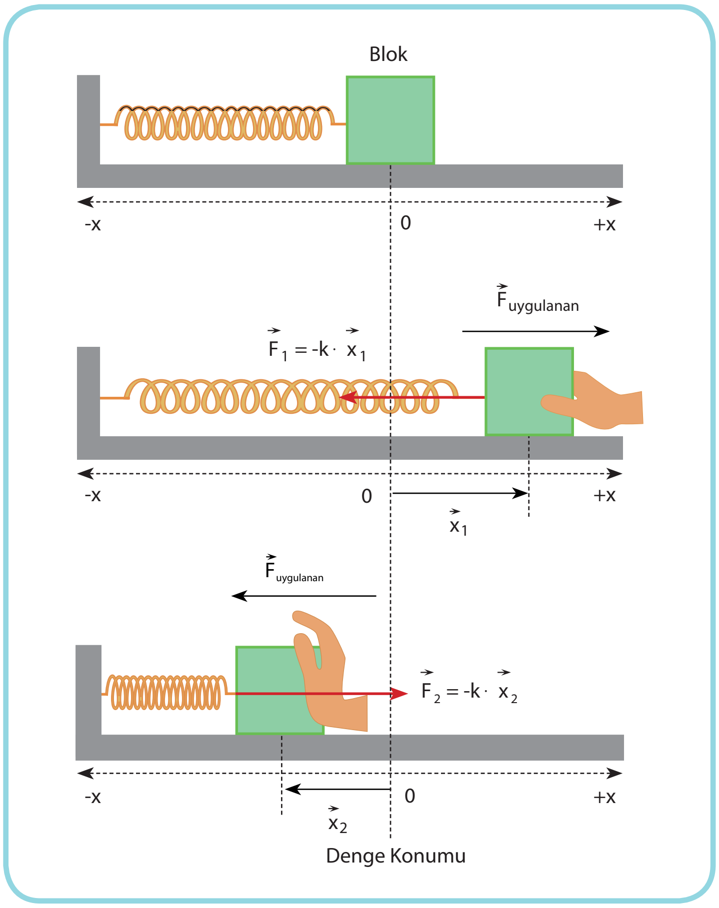
a) Tükenmez kalem içindeki yay



b) Araba amortisörü

Görsel 1.10: Yay örnekleri

Esnek cisimlere örnek olarak yay verilebilir. Yaya bir kuvvet uygulandığında kuvvetin yönüne göre yayda uzama ya da sıkışma meydana gelir. Her yayın kendine özgü bir yay sabiti (k) vardır. Eşit büyüklükte kuvvetler uygulandığında farklı cins yayların uzama ve sıkışma miktarını belirleyen niceliğe **yay sabiti** denir. Yay sabiti yayın yapıldığı maddenin cinsine, kullanılan telin kalınlığına, yayı oluşturan halkaların yarıçapına ve yayın uzunluğuna bağlı olarak değişir. Örneğin bir tükenmez kalemin içinde kullanılan yayın (Görsel 1.10.a) yay sabiti küçük iken arabaların amortisörlerinde (Görsel 1.10.b) kullanılan yayın yay sabiti çok büyüktür. Yay sabiti büyük olan yaylar **sert yay**, yay sabiti küçük olan yaylar ise **yumuşak yay** olarak ifade edilir.



Şekil 1.47: Denge konumundaki yaya uygulanan kuvvet etkisiyle yayın uzama ve sıkışma miktarı

Bir yayın, denge konumuna olan uzaklığını arttırmak için yaya uygulanan kuvvetin de arttırılması gerekir. Yaya kuvvet uygulandığında yay üzerinde de yayı denge konumuna getirmeye çalışan geri çağırıcı kuvvet oluşur. Geri çağırıcı kuvvet, uygulanan kuvvete eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.

Bir yaydaki uzama veya sıkışma miktarı (x), uygulanan kuvvet ($\vec{F}$) ve yay sabitine (k) bağlıdır (Şekil 1.47). Bu değişkenler arasındaki ilişki $\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$ ifadesi ile gösterilir. Bu ifadeye **Hooke** (Huk) **Yasası** denir.

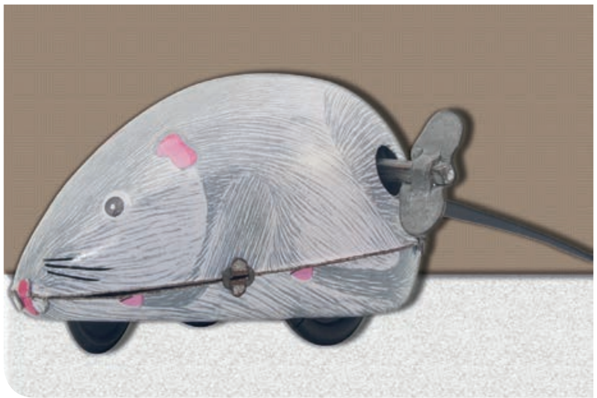
Kuvvet ifadesindeki (-) işaretinin nedeni geri çağırıcı kuvvet ile konum vektörünün zıt yönlü olmasıdır.



a) Bükülmüş atlama sırığı



b) Sıkıştırılmış sünger



c) Zembereği kurulmuş oyuncak



ç) Gerilmiş ok yayı

Görsel 1.11: Esnek cisimlerde enerjinin depo edilmesi

Bir sistem serbest bırakıldığında harekete geçerse o sistemde depo edilmiş enerji vardır. Bükülmüş bir atlama sırığı, sıkıştırılmış sünger, zembereği kurulmuş oyuncak, gerilmiş ok yayı gibi cisimler serbest bırakıldığında harekete geçer (Görsel 1.11). Bu cisimlerin ortak yönü hepsinin esneklik özelliğine sahip olmasıdır. Bir cisme kuvvet uygulanarak esnetilmesi ya da sıkıştırılması sırasında cisim üzerinde yapılan iş, cisme potansiyel enerji olarak aktarılır. Esnek cisimlerde depo edilen enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** adı verilir.

59. ALIŞTIRMA

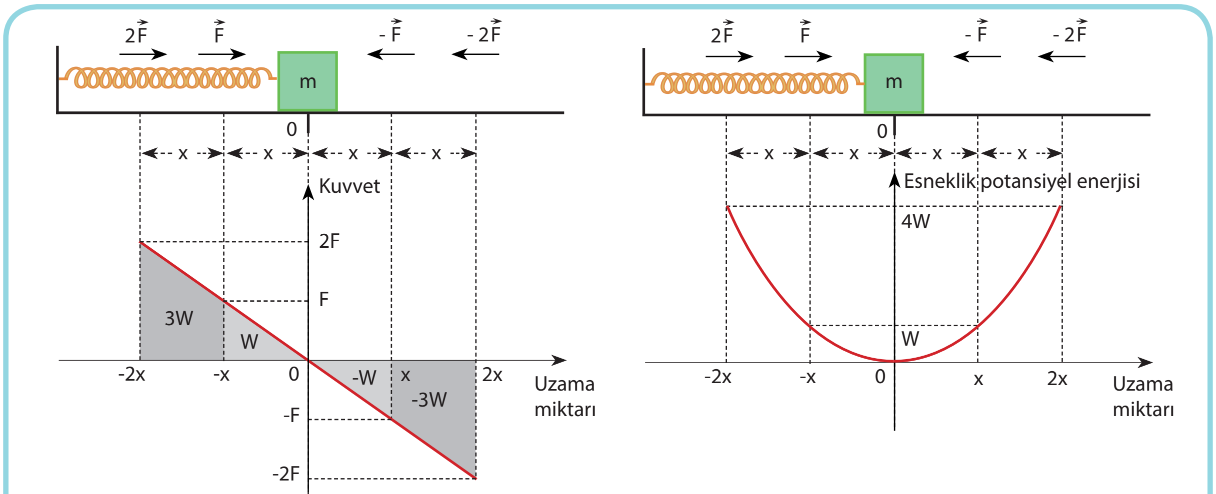
Yay sabiti k olan bir yaya uygulanan kuvvetlerin yayda oluşturduğu uzama miktarları tabloda verilmiştir.

Kuvvetlerin yaptığı iş yaya enerji olarak aktarıldığına göre yaya ait kuvvet-uzama grafiğini çizerek esneklik potansiyel enerjinin matematiksel modeline ulaşınız.

Kuvvet	0	F	2F	3F
Uzama Miktarı	0	x	2x	3x

ÇÖZÜM

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda denge konumundaki bir yaya m kütlesi bağlanıp yay F büyüklüğünde kuvvet ile x kadar sıkıştırıldığında uygulanan kuvvet iş yapar. Yapılan bu iş, yayda esneklik potansiyel enerjisi olarak depolanır. Yay serbest bırakılırsa yayda depo edilen enerji kütleye kinetik enerji olarak aktarılır. Kütle denge konumuna geldiğinde yaydaki esneklik potansiyel enerjinin tamamı kütleye kinetik enerji olarak aktarılmıştır. Kütle, bu enerjiden dolayı denge konumunda duramaz ve sahip olduğu hız ile ilerlemeye devam eder. Bu sırada yayı çekerek denge noktasından uzaklaştırır. Denge noktasından uzaklaşan yay üzerindeki geri çağırıcı kuvvet, daima denge konumuna yöneldiği için denge noktasına doğru yön değiştirir. Bu durumda da yay üzerindeki geri çağırıcı kuvvet iş yapmaya başlar. Tekrar gerilmeye başlayan yaydaki kütlenin sahip olduğu kinetik enerji, esneklik potansiyel enerjisi olarak yaya aktarılır. Bu enerji aktarımı, sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda denge konumuna göre x kadar sıkıştırılan yayın x kadar uzaması ile sona erer. Enerji aktarılan yay, tekrar denge konumuna gelmeye çalışır ve bu olay denge konumuna göre simetrik iki nokta arasında sürekli tekrarlanır. Titreşen yay denge konumundan uzaklaşırken yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi artar, denge konumuna yaklaşırken azalır.



a) Kuvvet-uzama miktarı grafiği

b) Esneklik potansiyel enerjisi-uzama miktarı grafiği

Grafik 1.17: Yayda kuvvet - uzama miktarı ve esneklik potansiyel enerjisi - uzama miktarı grafikleri

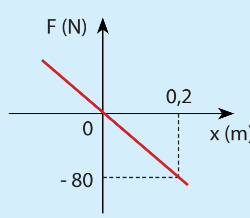
Esneklik sınırının aşılmaması koşuluyla yaya uygulanan kuvvet ile yayın uzama miktarı doğru orantılıdır. Buna göre kuvvet-uzama miktarı grafiği Grafik 1.17.a'daki gibi olur. Grafiğin eğimi $\tan\alpha = \frac{F}{x}$ olduğundan yay sabitine eşit olur. Kuvvet-uzama miktarı grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan ise yapılan işi verir. Bu iş, yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisini (E_P) ifade eder. Buna göre

Alan $= W = \frac{F \cdot x}{2} = \frac{k \cdot x \cdot x}{2} \Longrightarrow E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ olur. Yayda depolanan esneklik potansiyel enerjinin uzamaya bağlı grafiği Grafik 1.17.b'deki gibidir.

66. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemdeki yaya ait kuvvet–uzama miktarı grafiği verilmiştir.

Buna göre yayın uzaması 0,4 m iken yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi kaç J olur?



ÇÖZÜM

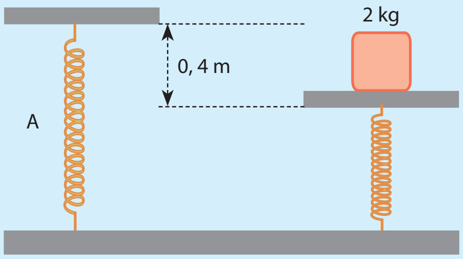
Kuvvet-uzama grafiği kullanılarak yay sabiti bulunur.

$F = k \cdot x \Longrightarrow 80 = k \cdot 0{,}2 \Longrightarrow k = 400$ N/m olur. Yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi

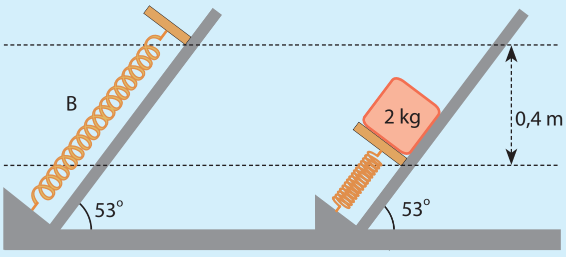
$E_P = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \Longrightarrow E_P = \frac{1}{2} 400 \cdot (0{,}4)^2 \Longrightarrow E_P = 32$ J bulunur.

67. ÖRNEK

Şekil I ve Şekil II'deki gibi A ve B yaylarının üzerine 2 kg kütleli cisimler konulduğunda yaylar sıkışmaktadır.



Şekil I



Şekil II

Buna göre yayların yay sabitleri $\frac{k_A}{k_B}$ oranı kaçtır? (sin 53° = 0,8; cos 53° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

Serbest hâldeki yaylara üzerlerine yerleştirilen cisimlerin ağırlıkları nedeniyle kuvvet uygulanır. Bu kuvvetlerin etkisi ile yaylar sıkışır.

A yayı için yay sabiti

$F = k \cdot x$

$m \cdot g = k \cdot x$

$2 \cdot 10 = k_A \cdot 0{,}4$

$k_A = 50$ N/m olur.

B yayının sıkışma miktarı

$\sin 53^\circ = \frac{0{,}4}{x}$

$0{,}8 = \frac{0{,}4}{x}$

$x = 0{,}5$ m olur.

Cismin ağırlığının yay üzerindeki bileşeni, B yayını sıkıştırır. B'nin yay sabiti

$m \cdot g \cdot \sin 53^\circ = k \cdot x$

$2 \cdot 10 \cdot 0{,}8 = k_B \cdot 0{,}5$

$k_B = 32$ N/m olur.

Buna göre $\frac{k_A}{k_B} = \frac{50}{32} = \frac{25}{16}$ olur.

68. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda gerilen bir yaya ait kuvvet–uzama miktarı ve esneklik potansiyel enerjisi-uzama değerleri Tablo I ve Tablo II'de verilmiştir.

Tablo I

Kuvvet (N)	0	F	300
Uzama Miktarı (m)	0	x	3x

Tablo II

Potansiyel Enerji (J)	0	10	E
Uzama Miktarı (m)	0	x	3x

Buna göre tablolarda belirtilen F ve E değerleri kaçtır?

ÇÖZÜM

Tablo I'e göre

$F = k \cdot x$

$300 = k \cdot 3x$

$300 = 3F \Longrightarrow F = 100$ N olur.

Tablo II'ye göre

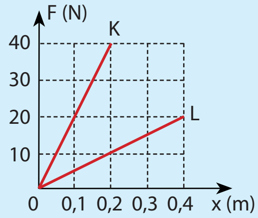
$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \Longrightarrow 10 = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ ve

$E = \frac{1}{2} k \cdot (3x)^2 = \frac{1}{2} k \cdot 9x^2$

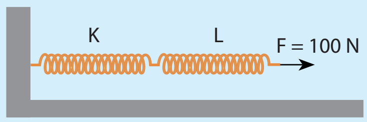
$E = 9 \cdot 10 \Longrightarrow E = 90$ J olur.

69. ÖRNEK

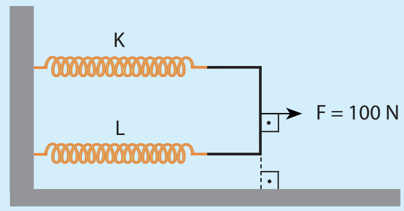
K ve L yaylarına ait kuvvet-uzama miktarı grafiği Şekil I'de verilmiştir. K ve L yayları, Şekil II ve Şekil III'teki gibi bağlanıp büyüklükleri 100 N olan kuvvetler uygulanarak dengeye getirilmiştir. Bu durumda yaylarda depolanan esneklik potansiyel enerjileri toplamı Şekil II'de E_1 ve Şekil III'te E_2 olmaktadır.



Şekil I



Şekil II



Şekil III

Buna göre $\frac{E_1}{E_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

Şekil I'deki grafikte eğim, yay sabitini verdiği için $k = \frac{F}{x}$ olur.

$k_K = \frac{40}{0,2} = 200$ N/m

$k_L = \frac{20}{0,4} = 50$ N/m

Şekil II'de K ve L yayları uç uca bağlı olduğundan gerginlikleri eşit ve her bir yayda oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü 100 N olur.

$F = k \cdot x$ ifadesinden yayların uzama miktarları bulunur.

K yayı $100 = 200 \cdot x_K \Longrightarrow x_K = 0,5$ m uzar.

L yayı $100 = 50 \cdot x_L \Longrightarrow x_L = 2$ m uzar.

K ve L yaylarında depolanan enerjilerin toplamı sistemin esneklik potansiyel enerjisini oluşturur.

$$E_1 = E_K + E_L \Longrightarrow E_1 = \frac{1}{2}k_K \cdot x_K^2 + \frac{1}{2}k_L \cdot x_L^2 \Longrightarrow E_1 = \frac{1}{2}200 \cdot 0,5^2 + \frac{1}{2}50 \cdot 2^2 \Longrightarrow E_1 = 25 + 100 = 125 \text{ J olur.}$$

Şekil III'te K ve L yayları yan yana bağlı olduğundan uzama miktarları eşit olur. Yaylarda oluşan gerilme kuvvetlerinin toplamı ise 100 N olarak bulunur.

$F = F_K + F_L \Longrightarrow F = k_K \cdot x_K + k_L \cdot x_L \Longrightarrow 100 = 200 \cdot x + 50 \cdot x = 250x \Longrightarrow x = 0,4$ m olur.

K ve L yaylarında depolanan enerjilerin toplamı sistemin esneklik potansiyel enerjisini oluşturur.

$$E_2 = E_K + E_L \Longrightarrow E_2 = \frac{1}{2}k_L \cdot x_L^2 + \frac{1}{2}k_L \cdot x_L^2 \Longrightarrow E_2 = \frac{1}{2}200 \cdot 0,4^2 + \frac{1}{2}50 \cdot 0,4^2 \Longrightarrow E_2 = 16 + 4 = 20 \text{ J bulunur.}$$

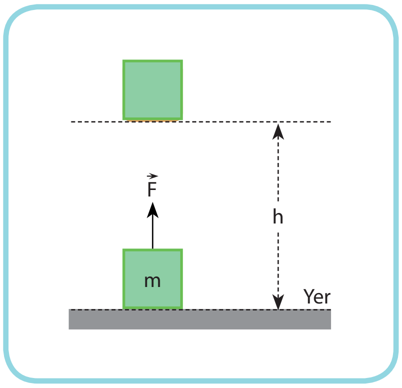
$\frac{E_1}{E_2} = \frac{125}{20} = \frac{25}{4}$ olur.

60. ALIŞTIRMA

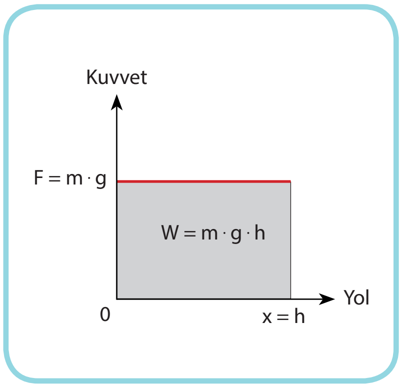
Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda m kütleli cisim bir $\vec{F}$ kuvvetiyle sabit hızla yeryüzünden h yüksekliğine çıkarılmaktadır.

$\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş cisme potansiyel enerji olarak aktarıldığına göre cismin kuvvet-yol grafiğini çizerek yer çekimi potansiyel enerjisinin matematiksel modeline ulaşınız.

ÇÖZÜM



Şekil 1.48: $\vec{F}$ kuvveti ile sabit hızla h kadar yükseltilen cisim



Grafik 1.18: Yerden h kadar yükselen cisme ait kuvvet-yol grafiği

Şekil 1.48'deki m kütleli cismi sabit hızla yerden h kadar yüksekliğe çıkarmak için cisme cismin ağırlığı kadar kuvvet uygulamak gerekir. Cismin yükseltilmesi sırasında kuvvetin yer çekimine karşı yaptığı iş, cisme yer çekimi potansiyel enerjisi olarak aktarılır. Bu cisme ait kuvvet-yol grafiği Grafik 1.18'deki gibi olur. Kuvvet-yol grafiğinde grafikle yatay eksen arasında kalan alan yapılan işi verir.

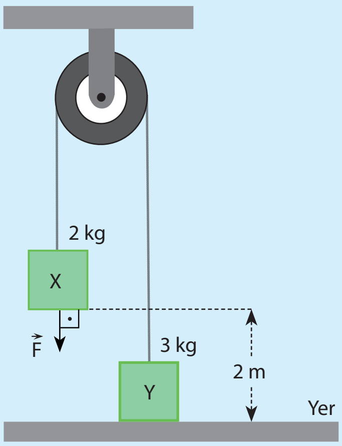
Alan = İş = $W = F \cdot \Delta x$ eşitliğinden

$W = m \cdot g \cdot h$ bulunur.

Buna göre yapılan iş, potansiyel enerjideki değişime eşittir. Yeryüzünden yukarı yönde çıkarılan cisimlerde yer çekimi kuvvetine karşı iş yapılır ve bu iş cismin potansiyel enerjisini arttırır. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda serbest bırakılan cisim üzerinde yer çekimi kuvvetinin yaptığı iş cismin potansiyel enerjisini azaltır.

70. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda kütlesi 2 kg olan X cismi ile 3 kg olan Y cismi dengededir. Cisimler aynı boyutlarda ve homojendir. X cismi $\vec{F}$ kuvvetiyle çekilerek Y cismi ile yan yana getirilmektedir.



Buna göre

a) X ve Y cisimlerinin potansiyel enerjilerindeki değişim kaç J olur?

b) Kuvvetin yaptığı iş kaç J olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) X cismi ile Y cismi arasındaki uzaklık 2 m olduğundan X cismi 1 m aşağıya çekildiğinde Y cismi 1 m yukarıya çıkar ve cisimler yan yana gelir. X cismi aşağıya indiği için potansiyel enerji kaybederken Y cismi yukarıya çıktığı için potansiyel enerji kazanır. Cisimlerin potansiyel enerjilerindeki değişim ΔE_p olmak üzere

$\Delta E_p = m \cdot g \cdot \Delta h$ olur.

X cismi için $\Delta E_p = 2 \cdot 10 \cdot 1 = 20$ J azalır.

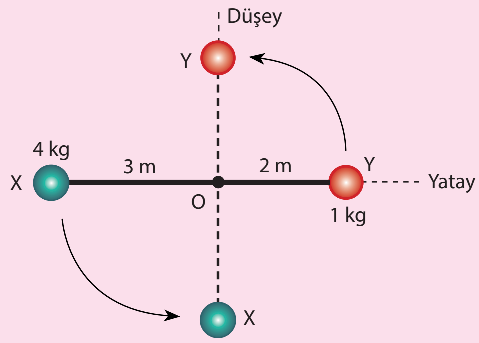
Y cismi için $\Delta E_p = 3 \cdot 10 \cdot 1 = 30$ J artar.

b) Kuvvetin yaptığı iş sistemin potansiyel enerjisindeki değişime eşittir.

$W = \Delta E_p = 30 - 20 = 10$ J olur.

61. ALIŞTIRMA

Ağırlığı ihmal edilen çubuk, düşey duvarda sabitlenmiş O noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde çubuğun uçlarına 4 kg kütleli X ve 1 kg kütleli Y cismi takılıp serbest bırakıldığında sistem yatay düzlemden düşey düzleme doğru harekete geçmektedir.



Buna göre yatay düzlemden düşey düzleme gelen sistemin potansiyel enerjisindeki değişim kaç J olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

62. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde, sabit kuvvet etkisi ile durgun hâlden harekete geçen cisme ait hız büyüklüklerinin zamana bağlı değişimi tabloda verilmiştir.

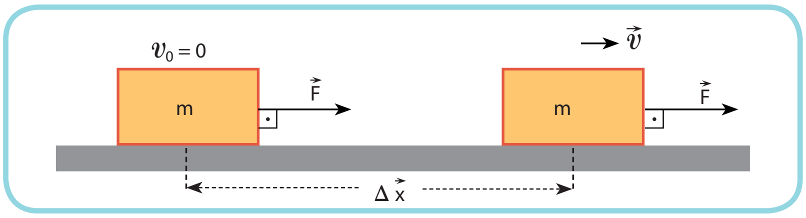
Zaman	0	t	2t	3t
Hız	0	v	$2v$	$3v$

Buna göre

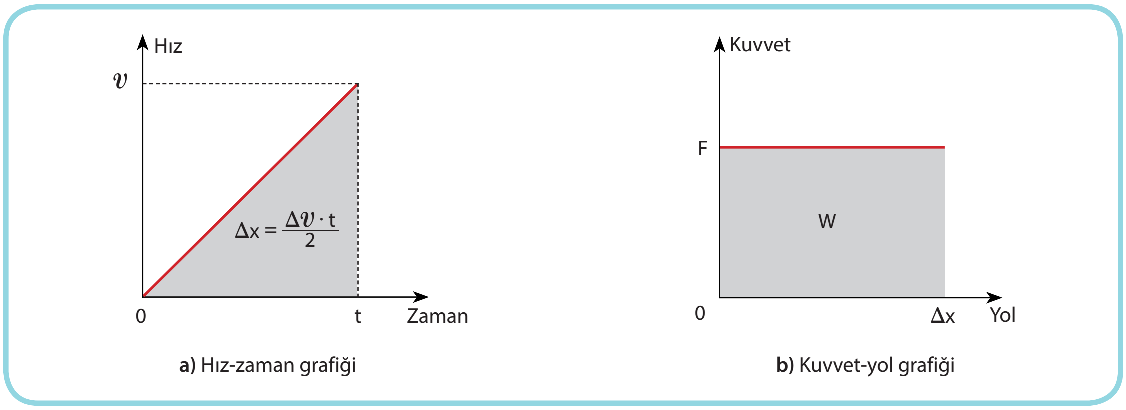
a) **Cismin hareketine ait hız-zaman grafiğini çiziniz.**

b) **Cismin hareketine ait kuvvet-yol grafiğini çizerek kinetik enerjinin matematiksel modeline ulaşınız.**

ÇÖZÜM



Şekil 1.49: Sabit kuvvet etkisinde hızlanan cisim



Grafik 1.19: Sabit kuvvet etkisinde hızlanan cisme ait grafikler

Şekil 1.49'daki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda durgun bir cisme sabit kuvvet uygulanarak cismin yer değiştirmesi sağlanırsa cisim ivmeli hareket eder ve düzgün hızlanır. Bu sırada kuvvetin yaptığı iş, cisme hareket enerjisi yani kinetik enerji (E_K) olarak aktarılır. Cisme ait hız-zaman grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan yer değiştirmeyi, kuvvet-yol grafiğinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan ise yapılan işi verir (Grafik 1.19).Hız-zaman grafiğinde alan

$$\Delta x = \frac{\Delta v \cdot t}{2} \text{ olur.}$$

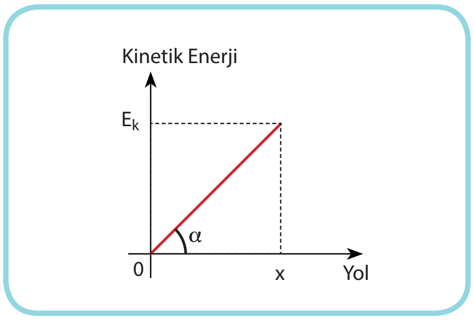
Kuvvet-yol grafiğinde alan

$$W = F \cdot \Delta x \text{ olduğundan}$$

$$W = m \cdot a \frac{\Delta v \cdot t}{2} \Rightarrow W = m \cdot \frac{\Delta v}{t} \cdot \frac{\Delta v \cdot t}{2} \Rightarrow W = \frac{1}{2} m \cdot \Delta v^2 \text{ bulunur.}$$

Bir cisme hızı yönünde Δx yolu boyunca kuvvet uygulandığında kuvvetin cisim üzerinde yaptığı iş, cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir. Buna göre

$$W = \Delta E_K = (E_K)_{son} - (E_K)_{ilk} \text{ olur.}$$



Grafik 1.20: Kuvvet etkisindeki cisme ait kinetik enerji-yol grafiği

Bir cismin kinetik enerjisinin yola göre değişim grafiğinin eğimi, cisme uygulanan net kuvveti verir (Grafik 1.20). Buna göre net kuvvet

$$\tan \alpha = \text{Eğim} = \frac{\Delta E_K}{\Delta x} \text{ ifadesi ile bulunur.}$$

71. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay zeminde durgun olan cisme yola paralel ve sabit F büyüklüğünde kuvvet uygulandığında cismin t anındaki hızının büyüklüğü ϑ, yer değiştirmesinin büyüklüğü x ve kinetik enerjisi E olmaktadır.

Buna göre cismin 0-3t aralığındaki

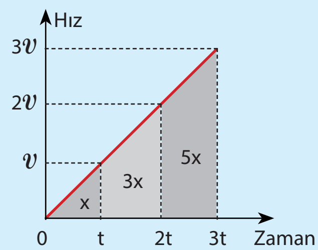
a) Hız-zaman grafiğini çiziniz.
b) Kuvvet-yol grafiğini çiziniz.
c) Kinetik enerji-yol grafiğini çiziniz.
ç) Kinetik enerji-hız grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

a) Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre sabit kuvvet etkisindeki cisimler sabit ivmeli hareket yapar ve düzgün hızlanır.

Zaman	0	t	2t	3t
Hız	0	ϑ	2ϑ	3ϑ

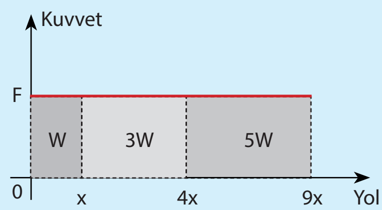
Hız-zaman grafiği şekildeki gibi olur.



b) Hız-zaman grafiğinde grafikle yatay eksen arasında kalan alan yer değiştirmeyi verir. 0-t aralığında alan x ise t-2t aralığında 3x ve 2t-3t aralığında 5x olacaktır.

Kuvvet	F	F	F	F
Konum	0	x	4x	9x

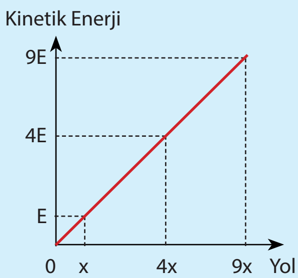
Kuvvet-yol grafiği şekildeki gibi olur.



c) Kuvvet-yol grafiğinde grafikle yatay eksen arasında kalan alan yapılan işi verir. Cismin konumu x olduğunda iş W olursa 4x olduğunda 3W artar, 9x olduğunda 5W daha artacaktır. Yapılan iş, kinetik enerjideki değişime eşit olduğundan

Kinetik Enerji	0	E	4E	9E
Konum	0	x	4x	9x

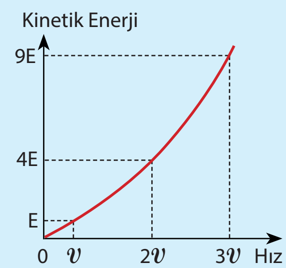
Kinetik enerji-yol grafiği şekildeki gibi olur.



ç) $E_K = \frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2$ ifadesine göre kinetik enerji cismin hızının karesi ile doğru orantılıdır.

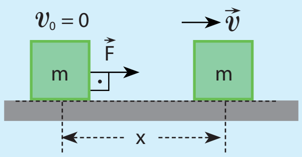
Kinetik Enerji	0	E	4E	9E
Hız	0	ϑ	2ϑ	3ϑ

Kinetik enerji-hız grafiği şekildeki gibi olur.

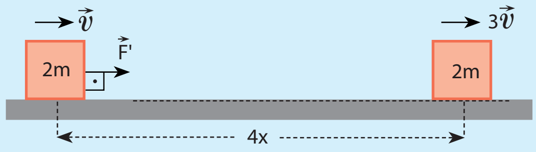


72. ÖRNEK

Şekil I'deki sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde durgun olan m kütleli cisme yatay ve yola paralel $\vec{F}$ kuvveti uygulanıp x büyüklüğünde yer değiştirmesi sağlandığında cismin hızı $\vec{v}$ olmaktadır. Şekil II'deki sürtünmesiz düzlemde $\vec{v}$ hızıyla gitmekte olan 2m kütleli cisme yatay, yola paralel ve büyüklüğü F′ olan kuvvet uygulanarak 4x büyüklüğünde yer değiştirmesi sağlandığında hızı $3\vec{v}$ olmaktadır.



Şekil I



Şekil II

Buna göre 2m kütleli cisme uygulanan $\vec{F}'$ kuvveti kaç F büyüklüğündedir?

ÇÖZÜM

Kuvvetlerin yaptığı iş, cisimlerin kinetik enerjilerindeki değişim kadardır. Buna göre F kuvveti uygulandığında

$W_1 = F \cdot x = \Delta E_K$

$F \cdot x = \frac{1}{2} m \cdot (v_{son}^2 - v_{ilk}^2)$

$F \cdot x = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - 0$

$m \cdot v^2 = 2F \cdot x$ bulunur.

$\vec{F}'$ kuvveti uygulandığında

$F' \cdot 4x = \frac{1}{2} 2m \cdot (9v^2 - v^2)$

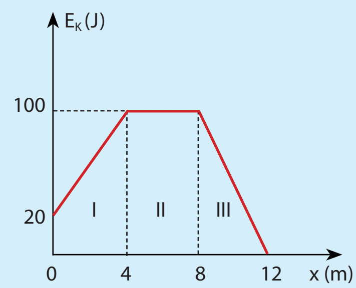
$F' \cdot 4x = 8m \cdot v^2$

$F' \cdot 4x = 8 \cdot 2F \cdot x$

$F' = 4F$ olur.

73. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemdeki bir cismin kinetik enerji-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Grafiğin I, II ve III. bölgelerinde cisme uygulanan kuvvetlerin büyüklükleri sırasıyla F_I, F_{II} ve F_{III}'tür.



Buna göre

a) F_I, F_{II} ve F_{III} kuvvetlerinin büyüklükleri kaç N olur?

b) I, II ve III. bölgelerinde kuvvetlerinin cismin hızına etkisini açıklayınız.

ÇÖZÜM

a) Enerji-yer değiştirme grafiğinde eğim, uygulanan kuvveti verir. Eğim $= \frac{\Delta E}{x}$ olduğundan

I. bölgede $F_I = \frac{E_{son} - E_{ilk}}{x} = \frac{100 - 20}{4} = \frac{80}{4} = 20$ N

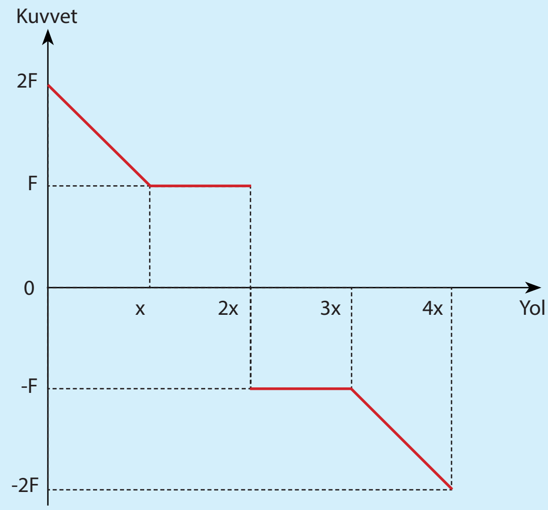
II. bölgede $F_{II} = 0$

III. bölgede $F_{III} = \frac{E_{son} - E_{ilk}}{x} = \frac{0 - 100}{4} = -\frac{100}{4} = -25$ N olur.

b) I. bölgede kinetik enerjisi arttığından cismin hızı da artar. II. bölgede kinetik enerjisi değişmediğinden cismin hızı da değişmez. III. bölgede kinetik enerjisi azaldığından cismin hızı da azalır .

74. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde durgun hâlde bulunan cisme etkiyen net kuvvetin yola bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir. Cismin 0-x aralığında kazandığı kinetik enerji 3E olmaktadır.



Buna göre cismin kinetik enerjisinin yer değiştirmeye bağlı değişim grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

Kuvvet - yol grafiğinde grafikle yatay eksen arasında kalan alan yapılan işi yani kinetik enerjideki değişimi verir.

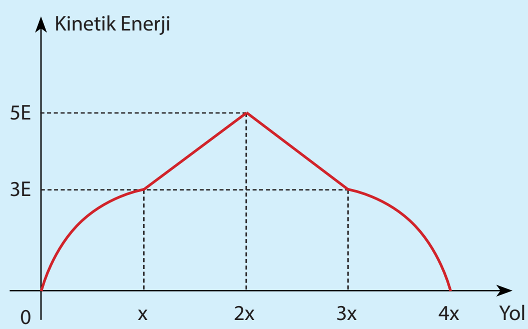
0-x aralığında alan $\frac{F+2F}{2}x = \frac{3F \cdot x}{2} = 3E$ olur ve cismin kinetik enerjisi 3E artar. Enerji artışı eşit zaman aralıklarında azalarak gerçekleşir.

x-2x aralığında alan $F \cdot x =$ 2E olur ve cismin kinetik enerjisi 2E artar. Enerjideki artış eşit zamanda eşit miktarda gerçekleşir.

2x-3x aralığında alan $-F \cdot x = -2E$ olur ve cismin kinetik enerjisi 2E azalır. Enerjideki azalma eşit zamanda eşit miktarda gerçekleşir.

3x-4x aralığı alan $-\left(\frac{F+2F}{2}\right) \cdot x = -3E$ olur ve cismin kinetik enerjisi 3E azalır. Enerjideki azalma eşit zaman aralıklarında azalarak gerçekleşir.

Cismin kinetik enerjisinin yer değiştirmeye bağlı grafiği şekildeki gibi olur.



B) MEKANİK ENERJİ VE KORUNUMU

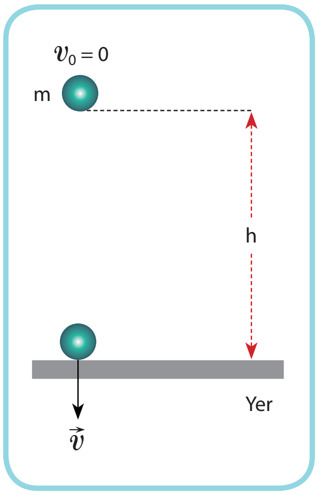


Görsel 1.12: Trambolinde zıplayan çocuk

Görsel 1.12'deki gibi trambolin üzerinde zıplayan çocuğun enerji dönüşümü ne şekildedir?

Bir cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjinin toplamına **mekanik enerji** denir. Mekanik enerji

$E_{Mekanik} = E_P + E_K$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 1.50: h yüksekliğinden serbest düşen cisim

Yerden h yüksekliğinde tutulan m kütleli cismin hızı olmadığı için kinetik enerjisi (E_K) de yoktur. Sadece yere göre $E_p = m \cdot g \cdot h$ kadar potansiyel enerjisi vardır. Cisim serbest bırakıldığında aşağıya doğru düşerken yerden yüksekliği azaldığı için potansiyel enerjisi azalır. Hava direnci gibi etkiler ihmal edildiğinde cismin kaybettiği potansiyel enerji, cisimde kinetik enerjiye dönüşür (Şekil 1.50). Cisim yere çarptığı anda da potansiyel enerjinin tamamı kinetik enerji olarak cisme aktarılır. Düşme sırasında potansiyel enerjideki azalma kinetik enerjideki artışı oluşturduğundan her an potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı sabit kalır. Bu olaya **mekanik enerjinin korunumu** denir.

Bir sistemin enerjisi, mekanik enerjinin korunumu ilkesine göre

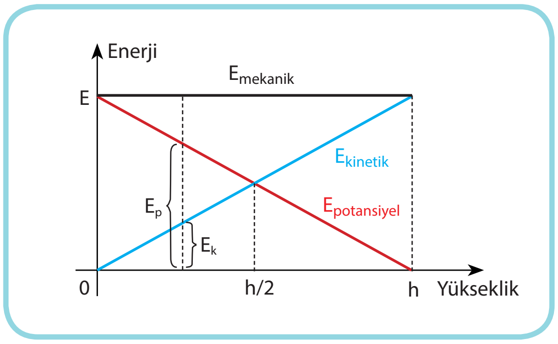
$E_{ilk} = E_{son}$

$E_{P\,(ilk)} + E_{K\,(ilk)} = E_{P\,(son)} + E_{K\,(son)}$

olarak ifade edilebilir.

Bu ifade sisteme sürtünme kuvveti gibi herhangi bir dış kuvvet etkisi olmayan sistemler için kullanılır. Sadece kütle çekim kuvveti gibi her noktada aynı büyüklükte, aynı yönde ve sürekli olan korunumlu kuvvetler ile etkileşen sistemler için geçerlidir.

Serbest düşen cisme ait mekanik, kinetik ve potansiyel enerjinin yüksekliğe bağlı grafiği Grafik 1.21'deki gibidir.

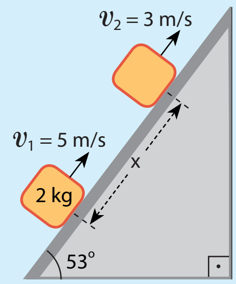


Grafik 1.21: Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda serbest düşen cismin sahip olduğu enerjilerin yükseklikle değişim grafiği

75. ÖRNEK

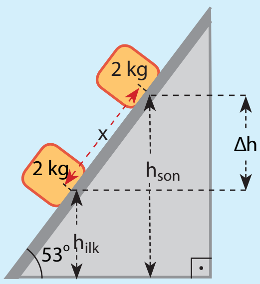
Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemde 5 m/s büyüklüğünde hızla yukarı yönde fırlatılan 2 kg kütleli cisim x kadar yer değiştirdiğinde hızının büyüklüğü 3 m/s olmaktadır.

Buna göre cismin x yer değiştirme miktarını bulunuz.
(sin 53° = 0,8; cos 53° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)



ÇÖZÜM

Cisim eğik düzlemden yukarı çıkarken potansiyel enerjisi artar, kinetik enerji azalır. Mekanik enerjinin korunumuna göre toplam enerji sabit olduğundan potansiyel enerjideki artma miktarı kinetik enerjideki azalma miktarına eşittir. Buna göre



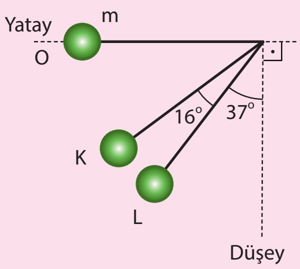
$\Delta E_K = \Delta E_P$

$\frac{1}{2} m \cdot (v_1^2 - v_2^2) = m \cdot g \cdot \Delta h \Longrightarrow \frac{1}{2} 2 \cdot (5^2 - 3^2) = 2 \cdot 10 \cdot \Delta h$

$16 = 20 \cdot \Delta h \Longrightarrow \Delta h = 0{,}8$ m bulunur.

$\sin 53° = \frac{0{,}8}{x} \Longrightarrow 0{,}8 = \frac{0{,}8}{x} \Longrightarrow x = 1$ m yer değiştirir.

63. ALIŞTIRMA

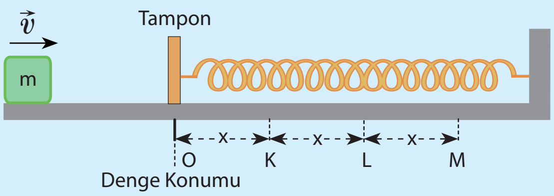


Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde esnemeyen ipe bağlı m kütleli cisim O noktasından serbest bırakıldığında K noktasından $\vec{v}_K$, L noktasından $\vec{v}_L$ büyüklüğünde hızlarla geçmektedir.

Buna göre $\frac{v_K}{v_L}$ büyüklüklerinin oranı kaçtır?
(sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

76. ÖRNEK



Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde m kütleli cisim, $\vec{v}$ hızıyla serbest yaya doğru fırlatılmaktadır. O noktasında bulunan yaya sabitlenmiş ve kütlesi ihmal edilen tamponu, M noktasına kadar sıkıştırıp geri dönmektedir. Cisim K noktasındayken yayda oluşan kuvvetin büyüklüğü F, yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi E kadardır.

Buna göre O-M noktaları arasında hareket eden cisme ait

a) Kuvvet-yer değiştirme grafiğini çiziniz.

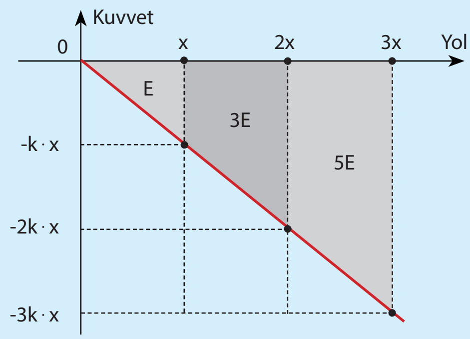
b) Kinetik, esneklik potansiyel ve mekanik enerjinin konuma bağlı değişim grafiklerini çiziniz.

ÇÖZÜM

a) $\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$ ifadesine göre kuvvet, yayın denge konumuna olan uzaklığı ile doğru orantılı olduğundan O, K, L ve M noktalarındaki kuvvet ve konum değerleri aşağıdaki tablodaki gibi olur.

	O	K	L	M
Konum	0	x	2x	3x
Kuvvet	0	F	2F	3F

Buna göre kuvvet-yol grafiği şekildeki gibi çizilir.



b) m kütleli cisim, yaya çarptığı andan itibaren sahip olduğu kinetik enerjinin tamamını yaya aktarana kadar yayı sıkıştırır. Yaydaki sıkışma nedeniyle yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi $E = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ ifadesine göre

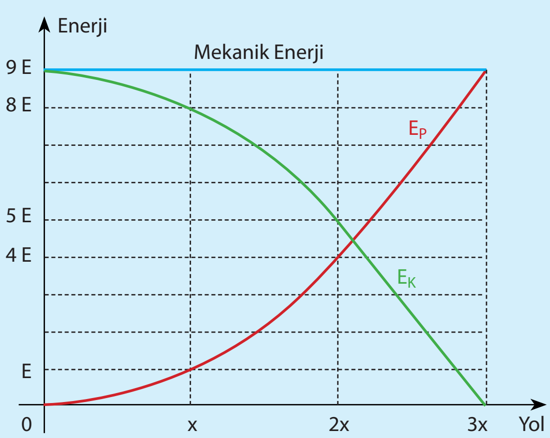
$E_0 = 0$

$E_1 = \frac{1}{2} k \cdot x = E$ ise

$E_2 = \frac{1}{2} k \cdot (2x)^2 = 4E$

$E_3 = \frac{1}{2} k \cdot (3x)^2 = 9E$ olur.

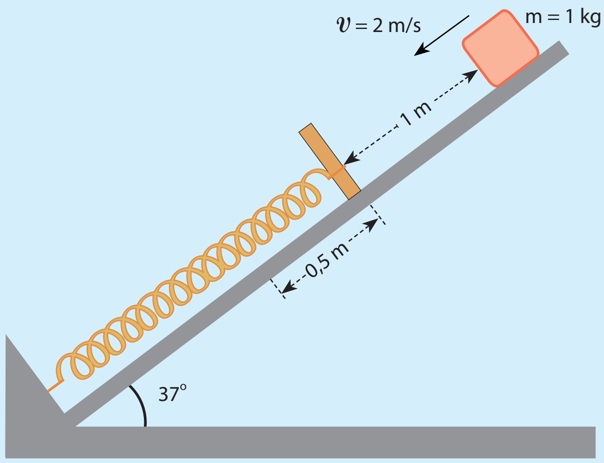
	O	K	L	M
Konum	0	x	2x	3x
Potansiyel Enerji	0	E	4E	9E
Mekanik Enerji	9E	9E	9E	9E
Kinetik Enerji	9E	8E	5E	0



Yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi ve kinetik enerjinin toplamı olan 9E mekanik enerjidir. Tabloda verilen değerler ile enerji grafikleri çizildiğinde cismin kinetik enerjisi azalırken yayın esneklik potansiyel enerjisinin arttığı ve sistemin mekanik enerjisinin sabit kaldığı görülür.

Kinetik, potansiyel ve mekanik enerjinin konuma bağlı grafikleri şekildeki gibi çizilir.

77. ÖRNEK



1 kg kütleli cisim, sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlem üzerine yerleştirilmiş olan serbest yaya 1 m uzaktan 2 m/s büyüklüğünde hız ile atılmaktadır. Cisim, ağırlığı ihmal edilen yay tamponunu denge konumundan maksimum 0,5 m sıkıştırıp geri dönmektedir.

Buna göre yayın yay sabiti k kaç N/m olur? (sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

Mekanik enerjinin korunumuna göre

$\frac{1}{2}m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2}k \cdot x^2$

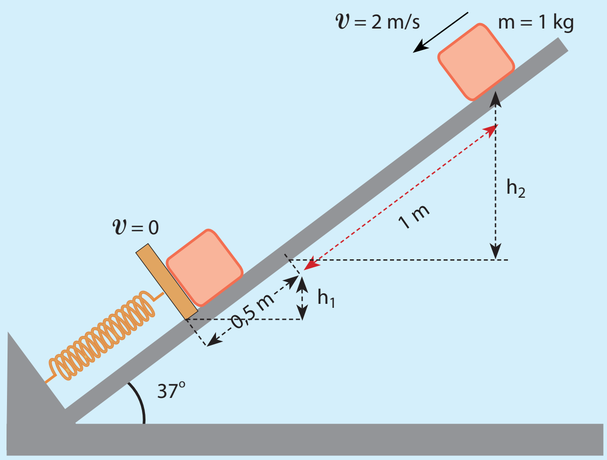
$\frac{1}{2}m \cdot v^2 + m \cdot g(h_1 + h_2) = \frac{1}{2}k \cdot x^2$

$h_1 = 0{,}5 \cdot \sin 37° = 0{,}3$ m

$h_2 = 1 \cdot \sin 37° = 0{,}6$ m

$\frac{1}{2}1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 10 \cdot (0{,}3 + 0{,}6) = \frac{1}{2}k \cdot (0{,}5)^2$

k= 88 N/m olur.

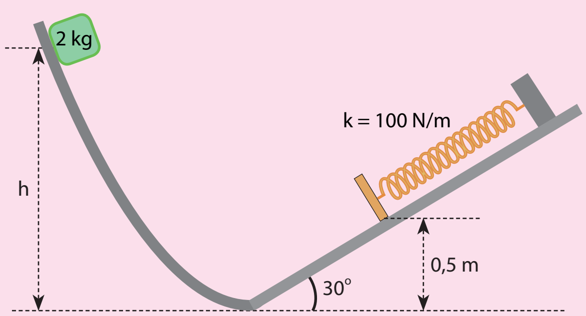


64. ALIŞTIRMA

h yüksekliğindeki sürtünmelerin ihmal edildiği yüzeyden serbest bırakılan 2 kg kütleli bir cisim, yay sabiti 100 N/m olan serbest yaya çarparak yayı 1 m sıkıştırıp geri dönmektedir.

Buna göre cismin bırakıldığı noktanın yerden yüksekliği kaç m olur?

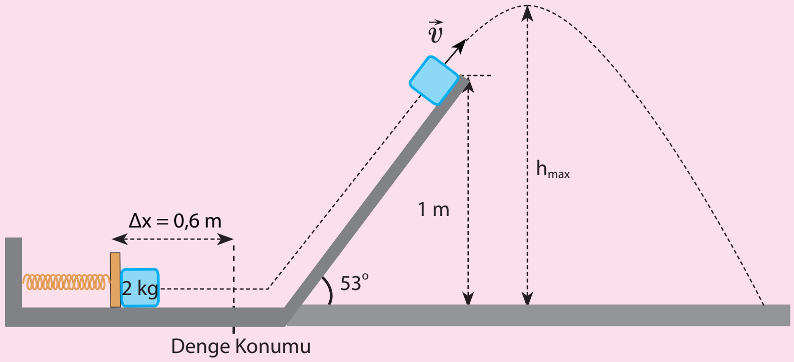
(sin 30° = $\frac{1}{2}$, cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ve g = 10 m/s² alınız.)



ÇÖZÜM

65. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde yay sabiti 250 N/m olan denge konumundaki yay, 0,6 m sıkıştırılarak yayın önüne 2 kg kütleli cisim yerleştirilmiştir. Yay serbest bırakıldığında cisim eğik düzlemden fırlayıp eğik atış hareketi yaparak yere düşmektedir.

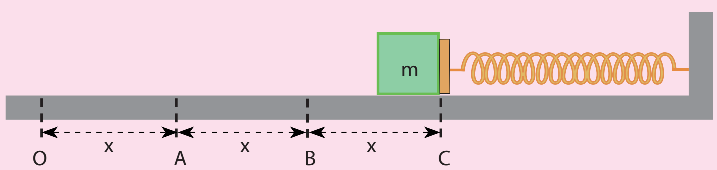


Eğik düzlemin yüksekliği 1 m olduğuna göre cismin yörüngesinin en yüksek noktası yerden kaç m yukarıda olur? (sin 53° = 0,8; cos 53° = 0,6 ve g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

66. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde denge konumu O noktası olan yay, 3x kadar sıkıştırılarak yayın önüne m kütleli cisim konulmuştur.



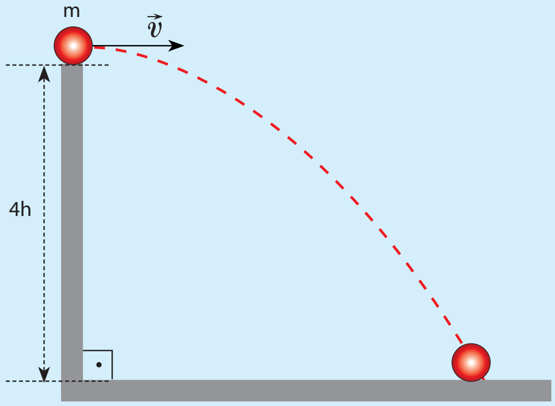
Sistem serbest bırakıldığında cismin B noktasından geçerken sahip olduğu kinetik enerji E_B, O noktasından geçerken E_O olduğuna göre $\frac{E_B}{E_O}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

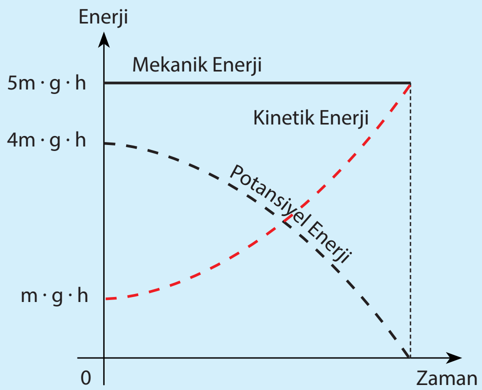
78. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden 4h yüksekliğinden yatay olarak $\vec{v}$ hızıyla atılan m kütleli cismin mekanik enerjisi 5m · g · h'dir.

Cismin kinetik, potansiyel ve mekanik enerjilerinin zamanla değişim grafiğini çiziniz.
(g, yer çekimi ivmesidir.)



ÇÖZÜM



Yerden 4h yükseklikte cismin çekim potansiyel enerjisi $E_P = 4m \cdot g \cdot h$ olur.

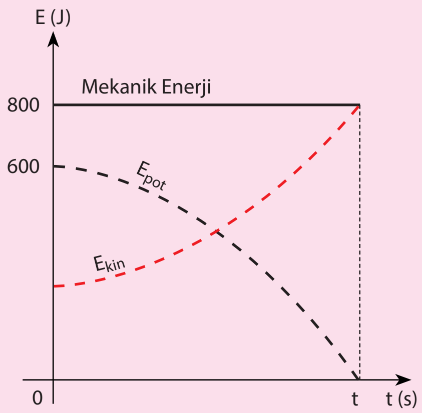
$E_{mekanik} = E_K + E_P$ olduğundan

$5m \cdot g \cdot h = E_K + 4m \cdot g \cdot h$

$E_K = m \cdot g \cdot h$ olur.

Cismin enerji-zaman grafiği şekildeki gibi çizilir.

67. ALIŞTIRMA



Sürtünmenin ihmal edildiği bir ortamda düşey olarak aşağı yönde atılan 2 kg kütleli cismin enerji - zaman grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre

a) Cisim yerden kaç m yükseklikten atılmıştır?

b) Cismin ilk hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

c) Cisim yerden kaç m yükseklikte iken kinetik enerjisi başlangıçtaki değerinin 2 katı olur?

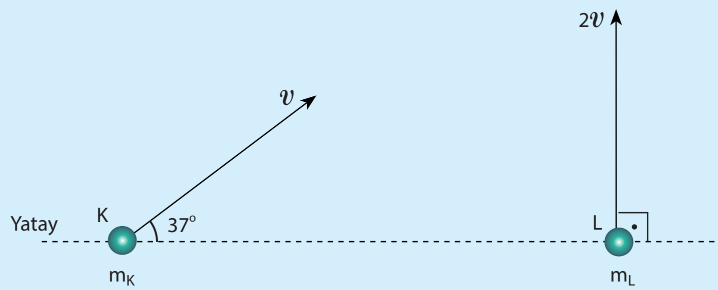
(g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

79. ÖRNEK

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda m_K kütleli K cismi yatay düzlemle 37° açı yapacak şekilde υ büyüklüğünde hız ile eğik atılırken m_L kütleli L cismi düşey yukarı yönde 2υ büyüklüğünde hız ile atılmıştır.

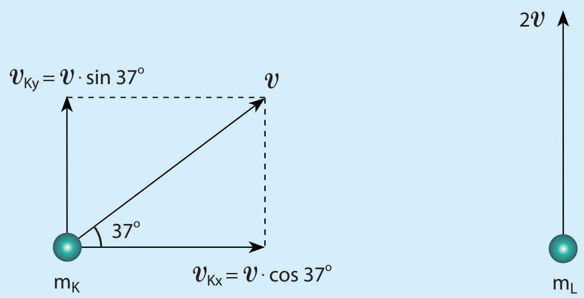
K cisminin yörüngesinin en yüksek noktasındaki kinetik enerjisi, L cisminin yerden en yüksek noktasındaki potansiyel enerjisine eşit olmaktadır.



Buna göre cisimlerin kütlelerinin $\frac{m_K}{m_L}$ oranı kaçtır? (cos 37° = 0,8; sin 37° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

Eğik atış hareketinde cisimlere yatay doğrultuda etkiyen kuvvet olmadığı için cisimlerin yatay hızı değişmez. K cismi eğik atıldığı için yörüngesinin en yüksek noktasında yatay hız bileşenine sahiptir ve bu hızından dolayı kinetik enerjisi vardır. L cismi ise aşağıdan yukarıya düşey atıldığı için çıkabileceği en yüksek noktada hızı sıfırdır. Başlangıçta sahip olduğu kinetik enerjinin tamamı potansiyel enerjiye dönüşmüştür.



K cisminin maksimum yükseklikteki kinetik enerjisi ile L cisminin atıldığı andaki kinetik enerjisi eşitlenirse

$$\frac{1}{2} m_K \cdot \upsilon_{Kx}^2 = \frac{1}{2} m_L \cdot \upsilon_L^2$$

$$\frac{1}{2} m_K \cdot (\upsilon \cdot \cos 37°)^2 = \frac{1}{2} m_L \cdot (2\upsilon)^2$$

$$\frac{1}{2} m_K \cdot (\upsilon \cdot 0{,}8)^2 = \frac{1}{2} m_L \cdot 4\upsilon^2$$

$$m_K \cdot 0{,}64\upsilon^2 = m_L \cdot 4\upsilon^2$$

$$\frac{m_K}{m_L} = \frac{4}{0{,}64}$$

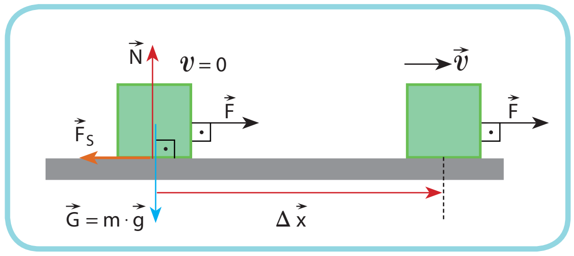
$$\frac{m_K}{m_L} = \frac{25}{4}$$ bulunur.

C) SÜRTÜNME KUVVETİNİN YAPTIĞI İŞ

Sürtünme kuvvetinin (F_s) olduğu yatay düzlem üzerinde $\vec{v}$ hızı ile fırlatılan cisim yavaşlayarak durur. Bu olayda cismin durmasının nedeni sürtünme kuvvetinin cismin hareketine karşı iş yapmasıdır. Cismin kinetik enerjisi sürtünme kuvveti nedeni ile sürtünen yüzeylerde ısı enerjisine dönüşür. Cisim durana kadar iş yapan kuvvet sürtünme kuvvetidir. Cisim x kadar yer değiştirdiğinde yol boyunca sabit olan sürtünme kuvvetinin yaptığı iş (W_s)

$\mathbf{W_s = \vec{F}_s \cdot \vec{x}}$ olur.

Bir sistem sadece sürtünme kuvvetinin etkisinde ise sistemin mekanik enerjisi korunmaz. Sürtünme kuvveti sistemin son ve ilk mekanik enerjileri arasındaki fark kadar iş yapar. Şekil 1.51'deki gibi sürtünmeli yüzeyde durmakta olan bir cisme yola paralel sabit $\vec{F}$ kuvveti uygulanırsa hem $\vec{F}$ kuvveti hem de $\vec{F}_S$ kuvveti iş yapar. Cismin hareketi yönünde uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş cismin kinetik enerjisini arttırırken harekete zıt yönlü $\vec{F}_S$ kuvvetinin yaptığı iş cismin kinetik enerjisini azaltır. Bu durumda net kuvvetin yaptığı iş,



Şekil 1.51: Sürtünmeli ortamda $\vec{F}$ kuvveti etkisinde hareket eden cisim

$W_{net} = F \cdot x - F_s \cdot x \Longrightarrow W_{net} = (F - F_s)\, x \Longrightarrow W_{net} = F_{net} \cdot x$ olur.

Şekil 1.52'deki gibi sabit sürtünmeli eğik düzlem üzerinde duran m kütleli cisim, yüzeye paralel sabit kuvvet uygulanarak h yüksekliğine çıkarılırsa

$\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş $W_F = F \cdot d$

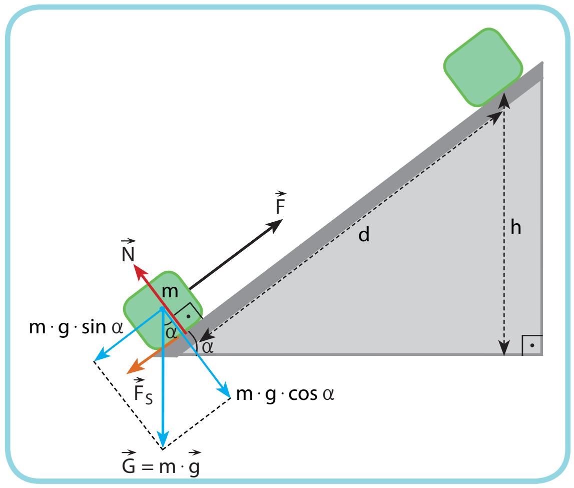
Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş $W_s = F_s \cdot d$

Çekim kuvvetine karşı yapılan iş

$W = m \cdot g \cdot \sin\alpha \cdot d = m \cdot g \cdot h$ olur.

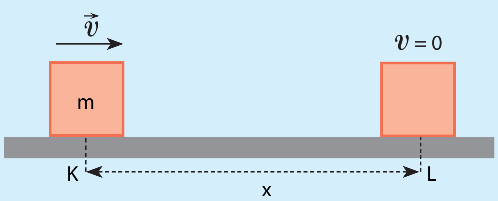
Net kuvvetin yaptığı iş cismin kinetik enerjisindeki değişimdir.

$W_{net} = F \cdot d - F_s \cdot d - m \cdot g \cdot h = \Delta E_K$ olarak bulunur.



Şekil 1.52: Sürtünmeli eğik düzlemde hareket eden cisme etki eden kuvvetler

80. ÖRNEK



Yatay düzlemin K noktasından $\vec{v}$ hızıyla fırlatılan m kütleli cisim x kadar uzaklıktaki L noktasında durmaktadır.

Buna göre KL yolu boyunca cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısını veren ifadeyi bulunuz.

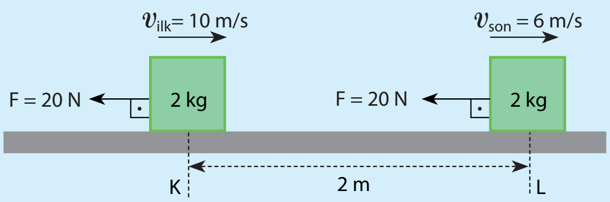
ÇÖZÜM

K noktasından fırlatılan cisim, hızından dolayı kinetik enerjiye sahiptir. Cisim L noktasında durduğuna göre sahip olduğu kinetik enerji, sürtünme kuvvetinin yaptığı işe dönüşmüştür.

$W = \Delta E_K \Longrightarrow F_{net} \cdot \Delta x = \Delta E_K$

$-F_s \cdot \Delta x = \frac{1}{2} m \cdot v_{son}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{ilk}^2 \Longrightarrow -k \cdot m \cdot g \cdot x = -\frac{1}{2} m \cdot v^2 \Longrightarrow k = \frac{v^2}{2g \cdot x}$ olur.

81. ÖRNEK



Yatay düzlemde 10 m/s büyüklüğündeki sabit hızla hareket eden 2 kg kütleli cisim sabit sürtünmeli KL yoluna girmiştir. Cisim K noktasından itibaren hareket yönüne zıt 20 N büyüklüğündeki sabit kuvvet etkisinde kalmaktadır.

Cisim L noktasına geldiğinde hızının büyüklüğü 6 m/s olduğuna göre cisimle KL yolu arasındaki sürtünme katsayısı kaçtır? (g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

Cisme uygulanan kuvvetler hareket yönüne zıt olduğu için kuvvetlerin yaptığı iş cismin kinetik enerjisini azaltır ve yavaşlamasına neden olur.

$W_{net} = F_{net} \cdot x$

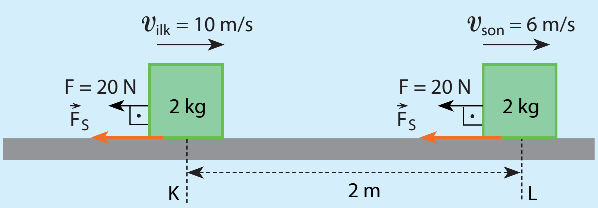
$W_{net} = (F + F_s) \cdot x$

$\Delta E_K = \frac{1}{2} m \cdot (v_{son}^2 - v_{ilk}^2)$

$W_{net} = \Delta E_K$

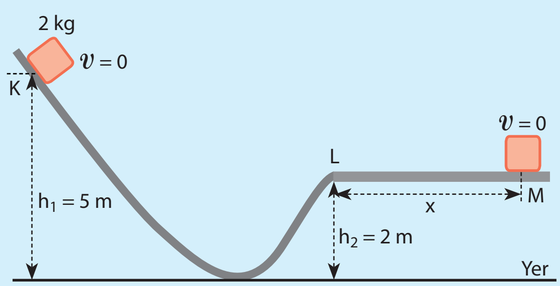
$(20 + F_s) \cdot 2 = \frac{1}{2} 2 \cdot (10^2 - 6^2)$

$F_s = 12$ N olur.



$F_s = k \cdot m \cdot g \Longrightarrow 12 = k \cdot 2 \cdot 10 \Longrightarrow k = \frac{3}{5}$ bulunur.

82. ÖRNEK



Yerden 5 m yükseklikteki K noktasından serbest bırakılan 2 kg kütleli cisim, yerden 2 m yükseklikteki L noktasını geçerek L ile aynı yatay hizadaki M noktasında durmaktadır.

Sadece LM aralığı sürtünmeli olup sürtünme katsayısı sabit ve $\frac{1}{4}$ olduğuna göre LM uzunluğu kaç m olur? (g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

Cismin K noktasında sahip olduğu potansiyel enerji, M noktasındaki potansiyel enerji ile sürtünme kuvvetinin yaptığı işin toplamına eşittir.

$m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_2 + W_s$

$m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_2 + F_s \cdot x$

$m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_2 + k \cdot m \cdot g \cdot x$

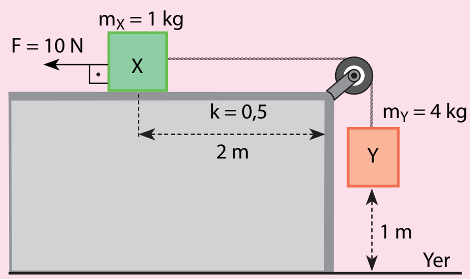
$h_1 = h_2 + k \cdot x$

$5 = 2 + \frac{1}{4} \cdot x$

x = 12 m olarak bulunur.

68. ALIŞTIRMA

Şekildeki gibi esnemeyen iple birbirine bağlanmış olan 1 kg kütleli X ve 4 kg kütleli Y cisimlerinden X cismine büyüklüğü 10 N olan yatay $\vec{F}$ kuvveti uygulanırken sistem serbest bırakılmaktadır.



Yatay düzlemle X cismi arasındaki sürtünme katsayısı sabit ve 0,5 olduğuna göre Y cismi yere çarpıncaya kadar geçen sürede

a) $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş kaç J olur?

b) Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş kaç J olur?

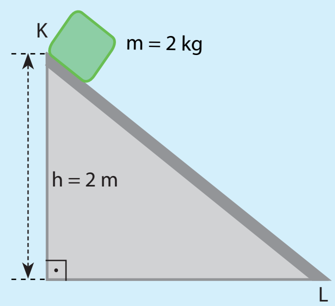
c) Y cismi yere çarptığı anda kinetik enerjisi kaç J olur? (g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

83. ÖRNEK

Eğik düzlemin 2 m yüksekliğindeki K noktasından serbest bırakılan 2 kg kütleli cisim L noktasına 4 m/s büyüklüğünde hızla ulaşmaktadır.

Buna göre cisim L noktasından eğik düzlemin yüzeyine paralel olacak şekilde hangi hızla atılırsa K noktasına ancak ulaşır?
(g = 10 m/s^2 alınız.)



ÇÖZÜM

Cisim K noktasında potansiyel enerjiye sahiptir. Eğer sistemin sürtünmeleri ihmal edilmiş ise cisim serbest bırakılıp L noktasına geldiğinde sahip olduğu tüm potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşecektir. Cismin K noktasındaki potansiyel ve L noktasındaki kinetik enerjileri

$E_{PK} = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 2 = 40$ J $E_{KL} = \frac{1}{2} m \cdot \upsilon^2 = \frac{1}{2} 2 \cdot 4^2 = 16$ J olur.

K noktasındaki potansiyel enerji ile L noktasındaki kinetik enerji eşit değildir. Bu durumda potansiyel enerjinin tamamı kinetik enerjiye dönüşmemiştir. Cismin potansiyel ve kinetik enerjilerinin arasındaki fark sürtünme kuvvetinin yaptığı işe eşittir.

$W_S = 40 - 16 = 24$ J olur.

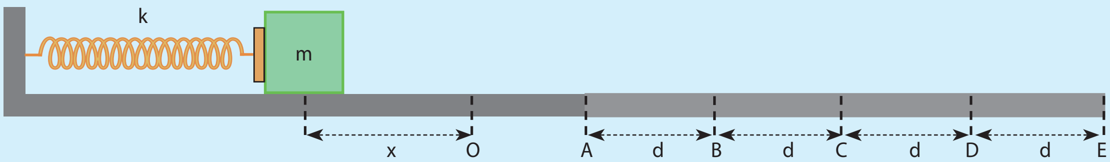
L noktasından atılan cismin kinetik enerjisi, eğik düzlemi çıkana kadar sürtünme kuvvetine karşı yaptığı iş ile K noktasında sahip olacağı potansiyel enerjinin toplamına eşittir. Cisim L noktasından υ' büyüklüğünde hızla atılırsa

$E_K = \frac{1}{2} m \cdot (\upsilon')^2 = m \cdot g \cdot h + W_S$

$\frac{1}{2} 2 \cdot (\upsilon')^2 = 2 \cdot 10 \cdot 2 + 24 \Longrightarrow (\upsilon')^2 = 64 \Longrightarrow \upsilon' = 8$ m/s olarak bulunur.

84. ÖRNEK

Yatay düzlemde AE noktaları arası sabit sürtünmelidir ve sürtünme katsayısı k_k'dir. Yay sabiti k olan ve denge konumundan (O noktası) x kadar sıkıştırılan yayın önüne m kütleli cisim yerleştirilmiştir. Yay serbest bırakıldığında cisim O noktasında yaydan ayrılıp C noktasında durmaktadır.



Buna göre yay 2x kadar sıkıştırılıp önüne 2m kütleli cisim yerleştirilerek serbest bırakılırsa 2m kütleli cisim hangi noktada durur? (Noktalar arası eşit uzunlukta ve d kadardır.)

ÇÖZÜM

Yay x kadar sıkıştırıldığında yayda depo edilen esneklik potansiyel enerji

$\Delta E_P = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ olur.

Yay serbest bırakıldığında bu enerji cisme kinetik enerji olarak aktarılır. Sabit hızla O noktasında yaydan ayrılan m kütleli cisim, AC noktaları arasında 2d uzunluğunda yer değiştirirken tüm enerjisini sürtünmeye karşı harcar.

Buna göre

$\frac{1}{2} k \cdot x^2 = F_s \cdot 2d$

$F_S = k_k \cdot m \cdot g$ olduğundan

$\frac{1}{2} k \cdot x^2 = k_k \cdot m \cdot g \cdot 2d$ olur.

Yay 2x kadar sıkıştırılıp önüne 2m kütleli cisim konulduğunda yayda depolanan potansiyel enerji, d'uzunluğundaki yolda sürtünme kuvvetinin yaptığı işe harcanır. Bu durumda

$\frac{1}{2} k \cdot (2x)^2 = F_s \cdot d'$

$\frac{1}{2} k \cdot 4x^2 = k_k \cdot 2m \cdot g \cdot d'$ olur.

Enerji dönüşümü eşitlikleri taraf tarafa oranlanırsa

$$\frac{\frac{1}{2} k \cdot x^2}{\frac{1}{2} k \cdot 4x^2} = \frac{k_k \cdot m \cdot g \cdot 2d}{k_k \cdot 2m \cdot g \cdot d'}$$

$\frac{1}{4} = \frac{d}{d'}$

$d' = 4d$ olarak bulunur.

Bu durumda cisim, E noktasında durur.

85. ÖRNEK

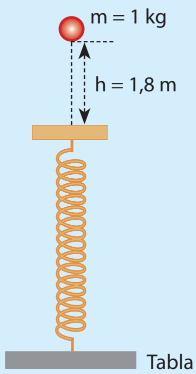
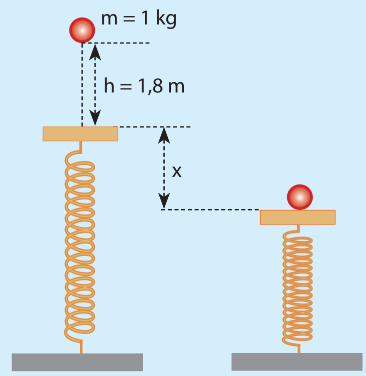


Tabla ve yayın ağırlıkları ile sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde yay sabiti 1 000 N/m olan yayın 1,8 m yukarısından 1 kg kütleli cisim serbest bırakılmıştır.

Buna göre cisim yayı en fazla kaç cm sıkıştırır? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM



Cisim serbest bırakıldığında sahip olduğu potansiyel enerji, yay maksimum x kadar sıkıştığında esneklik potansiyel enerjisine dönüşür. Buna göre

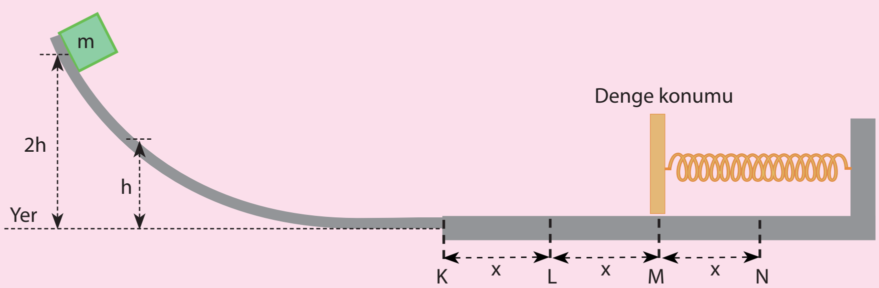
$m \cdot g\,(h + x) = \frac{1}{2}k \cdot x^2 \Longrightarrow 1 \cdot 10\,(1{,}8 + x) = \frac{1}{2}1\,000 \cdot x^2$

$500x^2 - 10x - 18 = 0$ denklemi çözüldüğünde

$x = 0{,}2$ m = 20 cm bulunur.

69. ALIŞTIRMA

Yerden 2h yüksekliğinden serbest bırakılan m kütleli cisim eşit x uzunluğunda bölmelere ayrılmış yatay düzlemin M noktasında dengede olan yayı, N noktasına kadar sıkıştırıp geri dönmektedir. Cisim geri dönüşte h yüksekliğine kadar çıkabilmektedir.



Sadece K-N noktaları arası sabit sürtünmeli olduğuna göre

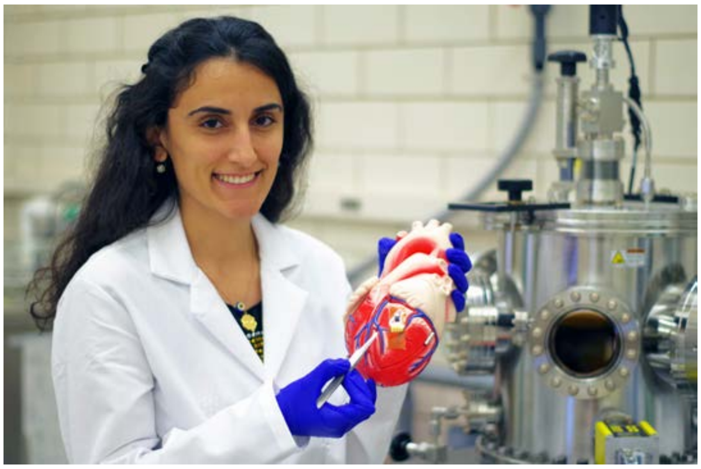
a) K-N noktaları arasındaki her bölmede ısıya dönüşen enerji kaç m · g · h olur?

b) Yayın, M noktasından N noktasına kadar sıkışması sırasında depoladığı esneklik potansiyel enerjisi kaç m · g · h olur?

ÇÖZÜM

OKUMA PARÇASI

CANAN DAĞDEVİREN



Görsel 1.13: Canan DAĞDEVİREN

1985 doğumlu bir bilim insanı olan Canan Dağdeviren (Görsel 1.13), liseyi bitirdikten sonra neler yapabileceğini düşünürken bir kitap fuarında Wigner (Vignır) madalyalı fizikçimiz Erdal İnönü ile tanışmıştır. Ondan aldığı fikir ve yönlendirmelerden sonra fizik okumaya karar vermiştir. Lisans eğitimini Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğinde (2007), yüksek lisansını da Malzeme Bilimi üzerine Sabancı Üniversitesinde tamamlamıştır (2009). Daha sonra doktora bursu ile gittiği Illinois Üniversitesinde (UIUC) fizik, elektrokimya, tıp ve mekanik alanlarının konusuna giren elastik giyilebilen elektronik aletler üzerinde çalışarak doktorasını yapmış (2014) ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) mühendislik çalışmalarına devam etmiştir.

Hayranı olduğu 18. yy. fizikçilerinden Nobel ödüllü Piere Curie'nin (Piyer Küri) piezoelektrik olayı ve 20. yy. fizikçilerinden Richard Feynman'ın (Riçırt Feynmın) nanoteknoloji fikirlerinden yola çıkarak yaptığı icatlarla kısa zamanda tüm dünyanın dikkatini çekmiştir. Piezoelektrik malzeme ile organların hareketini elektrik enerjisine çevirip bunu depolayabilen ve saç telinin %1'i kadar büyüklükteki elastik kalp pili, ilk önemli projesi olmuştur. Ayrıca deri üzerine yerleştirilen sensörlü cihaz ile cilt kanseri teşhisini gerçekleştirmiş, vücuda sürekli takılı kalarak kişinin kan basıncını ölçen ve takibini sağlayan elastik bir cihaz yapmıştır.

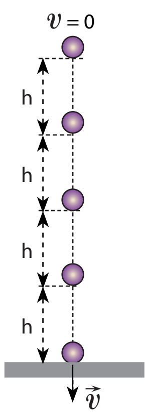
Canan Dağdeviren'in başarılı çalışmalarından biri de "beyin iğnesi" projesidir. Parkinson ve Alzheimer (alzaymır) hastalığında ilaçlar ağız veya damar yoluyla alınmaktadır. Bunun da sadece beyne değil vücudun birçok noktasına olumsuz etkileri olmaktadır. Beyin iğnesi ile bu olumsuz etkiler yok edilip ilaçlar direkt beyne iletilebilecek ve beyinde fonksiyonu yerinde olmayan bölgelerin tekrar fonksiyonlu hâle gelmesi sağlanabilecektir.

Şu anki hedefleri arasında yutulabilen tıbbi takip ve görüntüleme aletleri olduğunu söyleyen Dağdeviren ''Ben başarabildiysem siz de başarabilirsiniz!" demektedir. Hayallerini gerçekleştirmede gücünü Atatürk'ten aldığını, başarısını ona ve Türk milletine borçlu olduğunu dile getiren Dağdeviren "Umutsuzluğa düştüğüm zamanlarda motivasyonumu Atatürk'ten alıyorum. Bizler yoktan var olmuş bir milletin evlatlarıyız. Paranın pulun olmadığı, insan gücünün çok az olduğu zamanlarda Atatürk'ün, oradaki değerli silah arkadaşlarının ve Anadolu insanının hep birlikte kurduğu modern Türkiye'nin üyeleriyiz. Onlar yapabildiyse bizler de yapabiliriz. Çünkü bizim şu an daha çok imkânımız var." demektedir.

Yazar komisyonu tarafından bu kitap için yazılmıştır.

6. BÖLÜM SONU SORULARI

1.

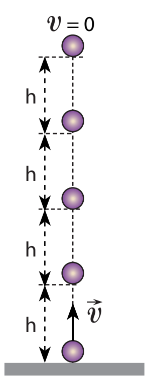


Hava direncinin ihmal edildiği ortamda şekildeki m kütleli cisim 4h yüksekliğinden serbest düşmeye bırakılmaktadır.

Buna göre cismin yere düştüğü ana kadar olan kinetik enerji, yer çekimi potansiyel enerji ve mekanik enerjilerinin zamana bağlı değişim grafiklerini çiziniz. (Yer çekim ivmesi g'dir.)

ÇÖZÜM

2.



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda düşey yukarı yönde $\vec{v}$ hızı ile atılan m kütleli cisim 2t sürede maksimum yüksekliğe çıkmaktadır.

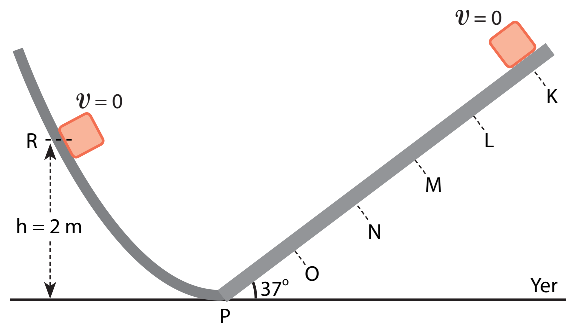
Buna göre

a) Cismin mekanik enerji-zaman grafiğini çiziniz.

b) Cismin yere düştüğü ana kadar olan kinetik enerjisi, yer çekimi potansiyel enerjisi ve mekanik enerjilerinin yer değiştirmeye bağlı grafiklerini çiziniz.

ÇÖZÜM

3. 1 m uzunluğunda eşit bölmelere ayrılmış K-P aralığında sürtünme kuvveti sabittir. P-R aralığında ise sürtünmeler ihmal edilmiştir. 2 kg kütleli bir cisim, eğik düzlemin K noktasından serbest bırakıldığında yerden 2 m yükseklikteki R noktasına kadar çıkabilmektedir.



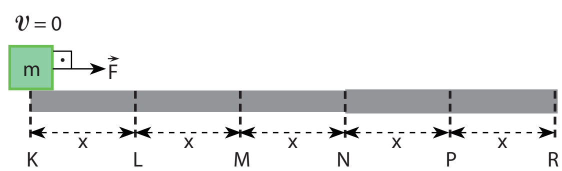
Buna göre

a) K-P aralığında sürtünme katsayısı k kaçtır?

b) Cisim R noktasından geri döndüğünde hangi noktaya kadar çıkabilir? ($\cos 37° = 0{,}8$; $\sin 37° = 0{,}6$ ve $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

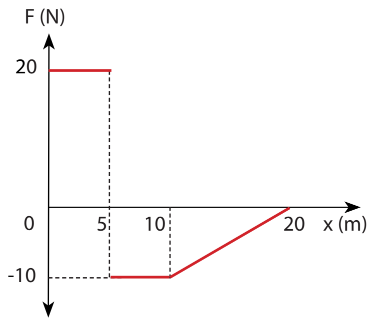
4. K noktasında durmakta olan m kütleli cisme, eşit ve x uzunluklarında bölmelendirilmiş yatay düzlemdeki sürtünmelerin ihmal edildiği K-N aralığında yatay $\vec{F}$ kuvveti uygulanmakta ve kuvvet N noktasında kaldırılmaktadır. Daha sonra cisim sabit sürtünmeli N-R aralığına girerek R noktasında durmaktadır.



Bu durumda sürtünme kuvvetinin büyüklüğü F_s kaç F olur?

ÇÖZÜM

5. Bir cisme uygulanan net kuvvetin yol ile değişim grafiği verilmiştir.

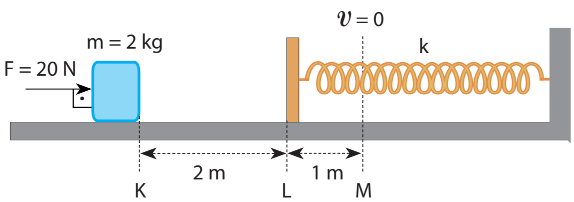


Buna göre

a) 0-5 m aralığında yapılan iş kaç J olur?
b) 5-10 m aralığında yapılan iş kaç J olur?
c) 10-20 m aralığında yapılan iş kaç J olur?
ç) Tüm yol boyunca yapılan iş kaç J olur?

ÇÖZÜM

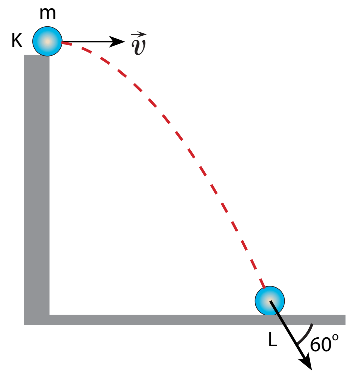
6. 2 kg kütleli cisim, sürtünmelerin ihmal edildiği zeminde durmaktayken 20 N büyüklüğündeki kuvvet ile K noktasından 2 m uzaklıktaki L noktasına kadar itilip bırakılmaktadır. Serbest bırakılan cisim dengedeki serbest yayı 1 m sıkıştırıp M noktasından geri dönmektedir.



Buna göre yayın yay sabiti kaç N/m olur?

ÇÖZÜM

7. m kütleli bir cisim, hava sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda K seviyesinden $\vec{v}$ hızıyla yatay olarak fırlatıldığında yerdeki L noktasına çarpmaktadır.

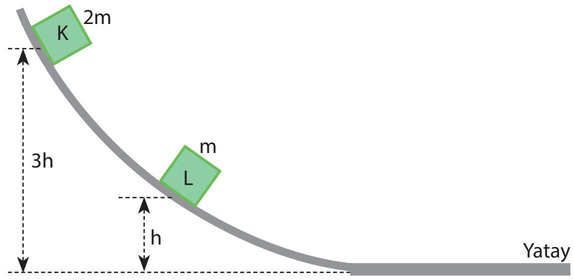


Cismin K noktasındaki potansiyel enerji E_K ve L noktasına ulaştığı andaki kinetik enerji E_L olduğuna göre enerjilerin $\frac{E_K}{E_L}$ oranı kaçtır?

(sin 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$, cos 60° = $\frac{1}{2}$ ve g = 10 m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

8. Sürtünmelerin ihmal edildiği yüzeyin 3h yüksekliğindeki 2m ve h yüksekliğindeki m kütleli cisimler serbest bırakılmaktadır. Cisimler sürtünmeli yatay düzleme girdiklerinde K cismi x ve L cismi y uzunluğu kadar gidip durmaktadır.



Bu uzunlukların oranı $\frac{x}{y}$ = 3 olduğuna göre cisimler yerleri değiştirilip bırakıldıklarında $\frac{x}{y}$ oranı kaç olur?

ÇÖZÜM

1.7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

Bir futbolcunun vurduğu top, futbolcuyla teması esnasında kazandığı ivme ile hız kazanır. Futbolcu, bu ivmeyi kazandırabilmek için topa bir kuvvet uygulamak zorundadır. Newton'ın Üçüncü Hareket Yasası'na göre ise futbolcunun topa uyguladığı kuvvete eşit büyüklükte ve ters yönde bir tepki kuvveti de futbolcuya uygulanır. Bu tepki kuvveti futbolcuya da bir ivme kazandırır. Ancak futbolcunun kütlesi topun kütlesinden daha büyük olduğu için futbolcunun kazanacağı hız topa göre çok daha küçük olur. Aynı şekilde birbiriyle çarpışan iki bilardo topu arasında da eşit büyüklükte ve zıt yönde kuvvetler oluşur.

Newton'ın Hareket Yasaları ile çarpışma anında toplar arasında oluşan kuvvetler açıklanabilir. Bu bölümde Newton'ın Hareket Yasaları ile açıklanabilen itme ve çizgisel momentum kavramları ile çizgisel momentumun korunumunun kullanım alanlarına değinilecektir.

A) ÇİZGİSEL MOMENTUM

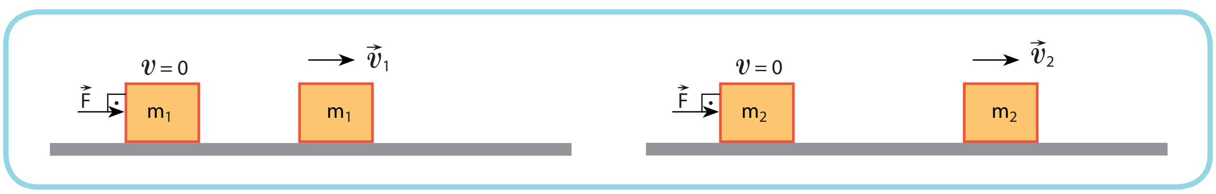
? Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde kaykay üzerinde hareketsiz duran çocuk elindeki topu ileriye doğru fırlatınca neden topun hareketine ters yönde hareket eder?



Şekil 1.53: Farklı hızlara sahip eşit kütleli cisimleri durduran kuvvetler

Şekil 1.53'teki gibi v_1 ve v_2 büyüklüğünde hızlarla hareket eden eşit kütleli iki cisim, eşit sürelerde sabit büyüklükte kuvvetler uygulanarak durdurulmak istenirse hızı küçük olan cismin durdurulması için cisme daha küçük kuvvet uygulanması gerekmektedir. Buna göre

$v_1 > v_2 \Longrightarrow F_1 > F_2$ olur.



Şekil 1.54: Kütleleri farklı durgun cisimlerin aynı büyüklükteki kuvvetlerle itildiğinde sahip olduğu hızlar

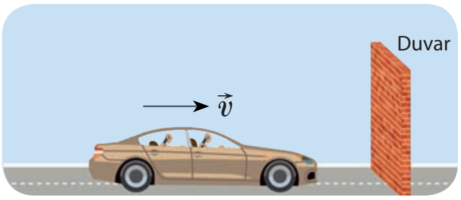
Şekil 1.54'teki gibi farklı kütlelere sahip m_1 ve m_2 kütleli durgun cisimlere sabit ve eşit büyüklükte F kuvvetleri eşit süre uygulanarak itildiğinde kütlesi küçük olan cisim, kütlesi büyük olandan daha hızlı gider. Buna göre

$m_1 > m_2 \Longrightarrow v_2 > v_1$ olur.

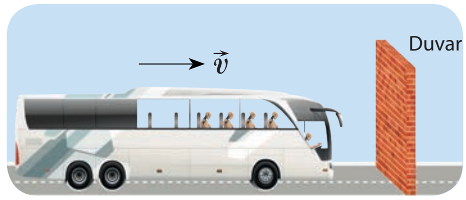
m_1 ve m_2 kütleli cisimlerin kütle ve hızları farklı olmasına rağmen kütleleri ile kazandıkları hızların çarpımı aynı olur. $\vec{v}$ hızı ile hareket eden m kütleli bir parçacığın kütle ve hızının çarpımından elde edilen terime **çizgisel momentum** denir. Çizgisel momentum hareketliliğin bir ölçüsüdür. Hareketli kütleye dair bir kavram olan çizgisel momentum $\vec{P}$ sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **kg·m/s**'dir.

$$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$$

Çizgisel momentum, vektörel bir büyüklüktür. Çizgisel momentum vektörü her zaman hız vektörü ile aynı yönlüdür. Hız, belirli bir süre içerisinde cisimlerin hangi yönde ve ne kadar yer değiştireceğini belirten kinematik bir niceliktir. Hız, belirli bir süre içinde cismi durdurmak için uygulanması gereken kuvvetin büyüklüğünü belirlemez. Bu kuvveti, kuvvetin uygulanma süresindeki çizgisel momentum değişimi belirler. Aynı sürede çizgisel momentumu büyük olan cisimleri durdurmak için uygulanması gereken kuvvet, çizgisel momentumu küçük olanlara göre daha büyük olur.



a) Test aracı (otomobil)



b) Test aracı (otobüs)

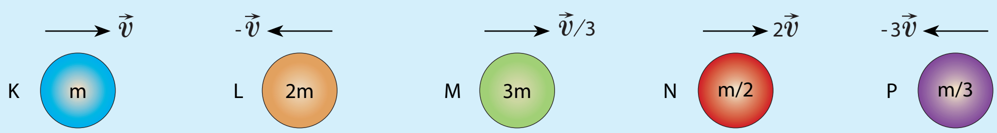
Görsel 1.14: Duvara aynı büyüklükte hızla çarpan farklı kütledeki test araçları

Görsel 1.14'teki gibi duvara aynı hızla çarpan güvenlik testi araçlarından otobüsün çizgisel momentumu, kütlesi daha büyük olduğu için otomobilinkinden daha büyüktür. Bu nedenle otobüs ile otomobilin aynı süre içinde durdurulabilmesi için otobüse daha büyük kuvvet uygulanmalıdır.

Bir aracın başka bir araca ya da bir engele çarpması can ve mal kayıplarına neden olabilir. Bu nedenle trafik kurallarına uyulmalı, kazalara sebep olabilecek davranışlarda bulunulmamalıdır. Bu, insanların hem kendilerine hem de çevreye karşı sorumluluğudur.

86. ÖRNEK

K, L, M, N ve P cisimlerinin kütle ve hızları şekildeki gibi verilmiştir.



Buna göre

a) **Çizgisel momentumları eşit olan cisimler hangileridir?**

b) **L ve M cisimlerinin çizgisel momentumları $\frac{P_L}{P_M}$ oranı kaçtır?**

ÇÖZÜM

a) Çizgisel momentum vektörel bir büyüklük olduğu için önce şekildeki gibi bir yön belirlenir.

Çizgisel momentum $\vec{P} = m \cdot \Delta\vec{v}$ olduğundan

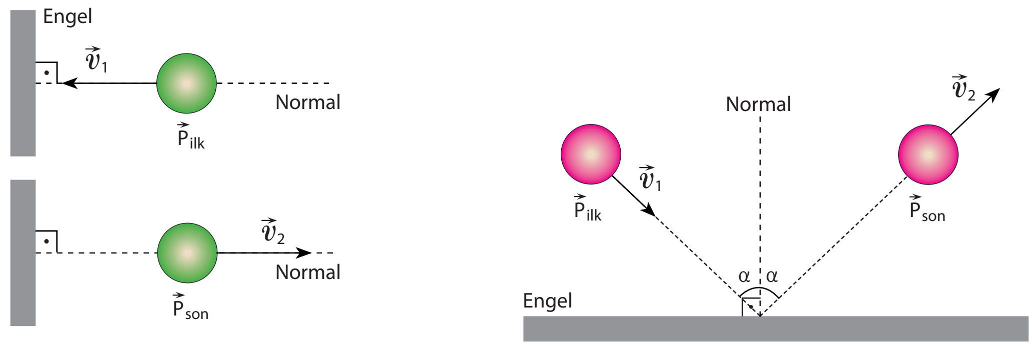
(-) Yön ← • → (+) Yön

$P_K = m \cdot v$ $\quad$ $P_L = 2m \cdot (-v) = -2m \cdot v$

$P_M = 3m \frac{v}{3} = m \cdot v$ $\quad$ $P_N = \frac{m}{2} \cdot 2v = m \cdot v$

$P_P = \frac{m}{3}(-3v) = -m \cdot v$ olur. Bu durumda K, M ve N cisimlerinin çizgisel momentumları eşittir.

b) L ve M cisimlerinin çizgisel momentumlarının oranı $\frac{P_L}{P_M} = \frac{-2m \cdot v}{m \cdot v} = -2$ olur. (-) işareti çizgisel momentumların zıt yönde olduğunu belirtir.



a) Hareket doğrultusu engel normaline paralel olan cismin yansıma hareketi

b) Hareket doğrultusu engel normali ile açı yapan cismin yansıma hareketi

Şekil 1.55: Engele farklı şekilde çarpan cisimlerin çizgisel momentum değişimleri

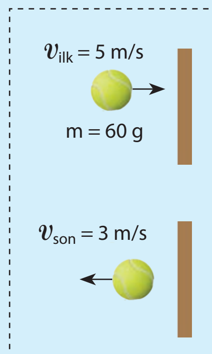
Hareketli cisim kuvvet etkisinde kaldığında ya da bir engele çarptığında çizgisel momentumu değişir (Şekil 1.55). Cismin çizgisel momentumundaki değişim bulunurken önce cisme ait ilk ve son çizgisel momentum vektörleri çizilir, daha sonra çizgisel momentumlarındaki değişim

$\Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$ işlemi ile bulunur.

87. ÖRNEK

Kütlesi 60 g olan tenis topu, şekildeki gibi bir duvara 5 m/s büyüklüğünde hız ile dik çarparak aynı doğrultuda 3 m/s büyüklüğünde hız ile geri dönmektedir.

Buna göre topun çizgisel momentumundaki değişimi bulunuz.



ÇÖZÜM

Topun kütlesi 60 g = 0,06 kg'a eşittir. Tenis topunun duvara gelme hızının yönü (+) alınırsa ilk çizgisel momentumu

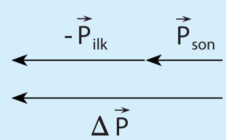
$\vec{P}_{ilk} = m \cdot \vec{v}_{ilk}$

$P_{ilk} = 0{,}06 \cdot 5 = 0{,}30$ kg·m/s ve (+) yönde bulunur.

Tenis topunun son çizgisel momentumu

$\vec{P}_{son} = m \cdot (-\vec{v}_{son})$

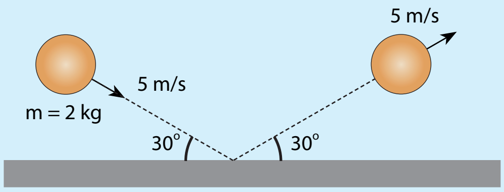
$P_{son} = 0{,}06 \cdot (-3) = -0{,}18$ kg·m/s ve (-) yönde bulunur.



Çizgisel momentum değişimi ifadesine göre

$\Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk} \Longrightarrow \Delta P = -0{,}18 - (+0{,}30) \Longrightarrow \Delta P = -0{,}48$ kg·m/s olur.

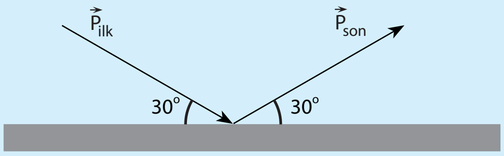
88. ÖRNEK



Kütlesi 2 kg olan cisim, bir engele 5 m/s büyüklüğünde hız ile yatay düzlemle 30° açı yapacak biçimde çarparak 5 m/s büyüklüğünde hız ve aynı açı ile yansımaktadır.

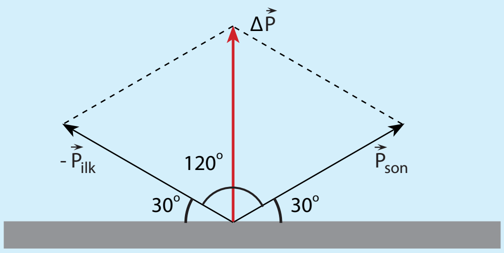
Buna göre cismin çizgisel momentumundaki değişimi bulunuz. (sin 30° = $\frac{1}{2}$ ve cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM



$P_{ilk} = m \cdot v_{ilk} = 2 \cdot 5 = 10$ kg·m/s

$P_{son} = m \cdot v_{son} = 2 \cdot 5 = 10$ kg·m/s



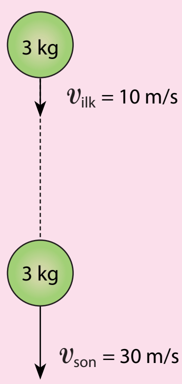
Çizgisel momentum değişimi, cisme ait ilk ve son çizgisel momentum vektörleri bulunduktan sonra $\Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$ ifadesine göre bulunur. $\vec{P}_{son}$ ve $-\vec{P}_{ilk}$ vektörleri arasındaki açı 120° olduğundan çizgisel momentum değişimi

$\Delta P = 10$ kg·m/s büyüklüğünde ve yukarı yönde olur.

70. ALIŞTIRMA

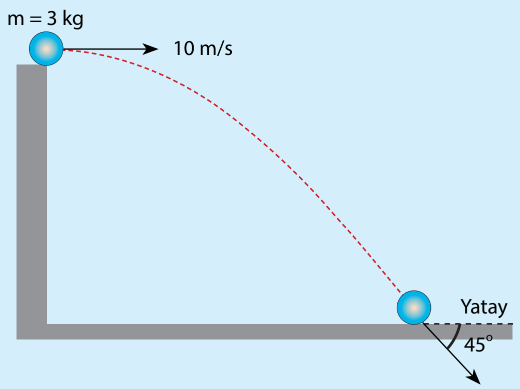
Kütlesi 3 kg olan cisim, şekildeki gibi 10 m/s büyüklüğünde hız ile düşey olarak aşağı yönde atılmıştır. Cismin hızının büyüklüğü bir süre sonra 30 m/s olmaktadır.

Buna göre cismin çizgisel momentumundaki değişim kaç kg·m/s olur?



ÇÖZÜM

89. ÖRNEK

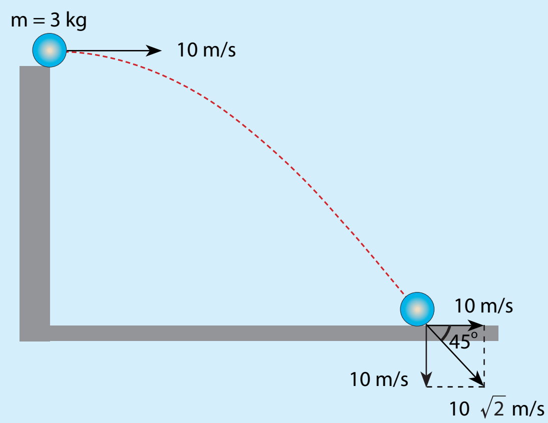


Hava direncinin ihmal edildiği ortamda kütlesi 3 kg olan cisim, şekildeki gibi 10 m/s büyüklüğünde hız ile yatay olarak atılmıştır. Cisim yere yatay düzlemle 45° açı yapacak biçimde çarpmıştır.

Buna göre cismin çizgisel momentumundaki değişimi bulunuz. (sin 45° = cos $45^{\circ} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

Cisim yere 45° açı ile çarptığı için yere çarpma hızının yatay ve düşey bileşenleri birbirine eşit ve 10 m/s olur. Yere çarpma hızı cismin son hızıdır ve $\mathcal{v}_{son} = 10\sqrt{2}$ m/s olur.



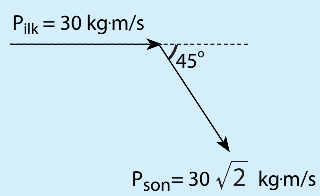
$P_{ilk} = m \cdot \mathcal{v}_{ilk}$

$P_{ilk} = 3 \cdot 10 = 30$ kg·m/s büyüklüğündeki ilk çizgisel momentum +x yönündedir.

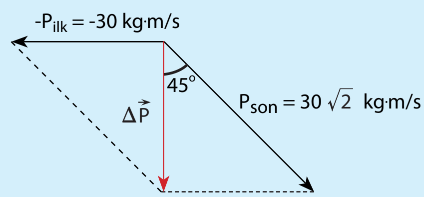
$P_{son} = m \cdot \mathcal{v}_{son} = 3 \cdot 10\sqrt{2}$

$P_{son} = 30\sqrt{2}$ kg·m/s olur. Yönü yere çarpma hızının yönüdür.

Cismin ilk ve son çizgisel momentumları şekildeki gibi çizilir.



Cismin çizgisel momentum değişimi şekildeki gibi çizilir.



$\Delta\vec{P} = (\vec{P}_{son})_y$ olduğu görülür. Buna göre

$\Delta P = 30$ kg·m/s büyüklüğünde ve –y yönündedir.

Yatay atış hareketinde yatay doğrultuda hız değişimi olmadığından momentum değişiminin nedeni hızın düşey bileşenidir.

ARAŞTIRMA KONUSU

Günlük hayatta karşılaştığınız hız değiştiren cisimlere örnekler verip çizgisel momentumlarının nasıl değiştiğini inceleyiniz.

B) İTME

Durgun bir cismi harekete geçirmek için cisme hareket ettirilmek istenen yönde kuvvet uygulanmalıdır. Hareket hâlindeki bir cismi durdurmak için ise cisme hareket yönüne zıt yönde bir kuvvet uygulanmalıdır. Cisim; uygulanan kuvvetin yönüne ve uygulama süresine bağlı olarak hızlanır, yavaşlar ya da durur. Kuvvet etkisi ile hızı değişen cisimlerin çizgisel momentumu da değişir. Bu durum da belli bir süre kuvvet uygulanan cisme, kuvvet uygulanan kaynaktan çizgisel momentum aktarıldığı anlamına gelir. Kuvvetin büyüklüğü ile etki süresinin çarpımı, kuvvetin etki miktarını ifade eder. Buna **itme** denir. İtme vektörel bir büyüklüktür ve her zaman kuvvet vektörü ile aynı yönlüdür. $\vec{I}$ sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **N.s**'dir.

$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$ ile ifade edilir.

C) İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM ARASINDAKİ İLİŞKİ

Newton'ın İkinci Hareket Yasası kullanılarak itme ve çizgisel momentum kavramları arasında nasıl bir ilişki kurulabilir?

Boş bir market arabası, sabit kuvvet ile belli bir süre itildiğinde kolay bir şekilde hareket ettirilerek hızlandırılabilir. Alışveriş yapılarak doldurulan araba ise aynı süre ve aynı kuvvetle itildiğinde boş arabanın ulaştığı hıza ulaştırılamaz. Arabayı iterek hareket ettirmek zorlaşır. Aslında arabaya her iki durumda da eşit zaman aralıklarında eşit itme uygulanır. Bu itmeler, arabaya çizgisel momentum değişimi olarak aktarılır. Çizgisel momentumu eşit olan cisimlerden $\vec{P} = m \cdot \vec{v}$ ifadesine göre kütlesi büyük olanın hızı küçük olur. Bu nedenle dolu market arabasını boş olana göre hızlandırmak daha zordur. Aynı süre içinde dolu arabanın hızını, boş olan arabanın hızına ulaştırmak için daha büyük kuvvet uygulamak gerekir.

Newton'ın İkinci Hareket Yasası'na göre kuvvet etkisindeki cisimler, ivmeli hareket eder. Bu ifade yeniden düzenlenirse itme ile çizgisel momentum arasındaki ilişki bulunabilir.

$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ bağıntısında ivmenin değeri yerine yazıldığında $\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ olur. Eşitlik düzenlenirse

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v} \Longrightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk}) \Longrightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \vec{v}_{son} - m \cdot \vec{v}_{ilk} \Longrightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$$

$\vec{I} = \Delta \vec{P}$ olur.

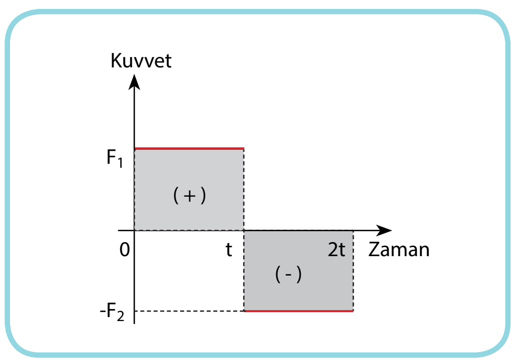
Bu ifadeye göre bir cisme uygulanan itme, cismin çizgisel momentumundaki değişime eşittir.

Bir cisme ait kuvvet-zaman grafiklerinde grafik ile yatay eksen arasında kalan alan cisme uygulanan itmeyi verir.

Alan = $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$

İtme ve çizgisel momentum kavramları vektörel büyüklükler olduğu için grafiğin altındaki alanlar kullanılırken işaretlerine dikkat edilmelidir. Grafik ile yatay eksen arasındaki alan zaman ekseninin üstündeyse itme pozitif, altındaysa negatif alınır. Buna göre Grafik 1.22'deki grafik için

Alan = $I = F_1 \cdot t - F_2 \cdot t$ olur.

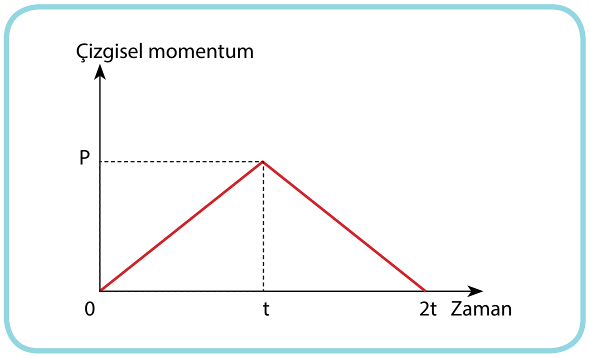


Grafik 1.22: Cisme etki eden kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği

$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin büyüklüklerinin eşit olması durumunda cismin çizgisel momentum-zaman grafiği Grafik 1.23'teki gibi olur.

Bir cismin çizgisel momentumun zamana bağlı değişim grafiğinde

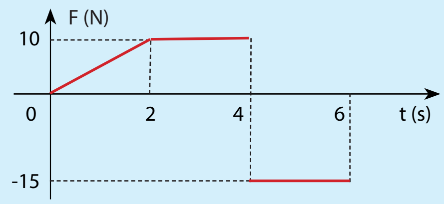
Eğim $= \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta t}{\Delta t}$ olur ve eğim, kuvveti verir.



Grafik 1.23: Cismin çizgisel momentumunun zamana bağlı değişim grafiği

90. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemdeki bir cisme uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği verilmiştir.



Buna göre cisme uygulanan itmenin büyüklüğünü bulunuz.

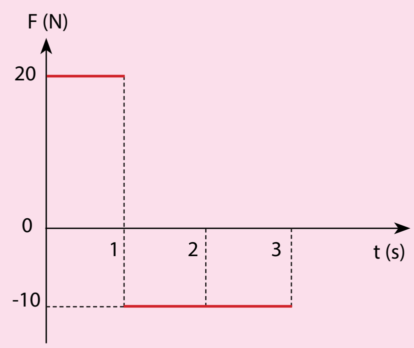
ÇÖZÜM

Kuvvet-zaman grafiğinde grafikle yatay eksen arasında kalan alanların cebirsel toplamı, cisme uygulanan itmenin büyüklüğünü verir.

Toplam alan $= I = \frac{10 \cdot 2}{2} + 2 \cdot 10 - 2 \cdot 15 = 0$ bulunur.

71. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde durmakta olan 2 kg kütleli cisme uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği verilmiştir.

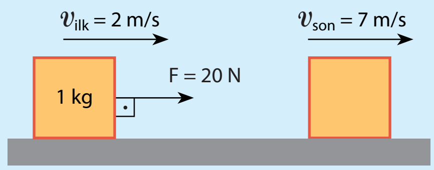


Buna göre cismin çizgisel momentum-zaman grafiğini çiziniz.

ÇÖZÜM

91. ÖRNEK

Şekildeki gibi kütlesi 1 kg olan cisme sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde ve yatay doğrultuda 20 N büyüklüğünde kuvvet bir süre uygulanmaktadır. Bu kuvvet sonucunda cismin hızının büyüklüğü 2 m/s'den 7 m/s'ye çıkmıştır.

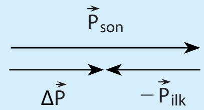


Buna göre kuvvetin cisme uygulanma süresini bulunuz.

ÇÖZÜM

Kuvvet etkisindeki cismin çizgisel momentumundaki değişim, cisme etkiyen itmeye eşittir. Cismin çizgisel momentumundaki değişim $\Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$ ifadesi ile bulunur. Çizgisel momentum değişiminin büyüklüğü

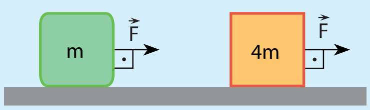
$\Delta\vec{P} = m \cdot \vec{v}_{son} - m \cdot \vec{v}_{ilk} \Longrightarrow \Delta P = 1 \cdot 7 - 1 \cdot 2 \Longrightarrow \Delta P = +5$ kg·m/s olur.



Cisme uygulanan kuvvetin süresi de

$\vec{I} = \Delta\vec{P}$ $\qquad \vec{F} \cdot \Delta t = \Delta\vec{P}$ $\qquad 20 \cdot \Delta t = 5 \Longrightarrow \Delta t = 0{,}25$ s bulunur.

92. ÖRNEK



Şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde durgun hâlde bulunan m ve 4m kütleli cisimlere büyüklüğü F olan kuvvetler uygulanmaktadır.

Buna göre

a) Cisimlerin aynı çizgisel momentuma ulaşmaları için

b) Cisimlerin aynı hıza ulaşmaları için

c) Cisimlerin aynı kinetik enerjiye ulaşmaları için kuvvetlerin etki süreleri $\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$ oranı kaç olmalıdır?

ÇÖZÜM

a) İtme çizgisel momentumdaki değişime eşittir. Buna göre cisimlerin itmeleri için $\vec{I}_1 = \vec{I}_2$ eşitliği yazılabilir. Buradan

$F \cdot \Delta t_1 = F \cdot \Delta t_2 \Longrightarrow \Delta t_1 = \Delta t_2 \Longrightarrow \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = 1$ olur.

b) Cisimlerin aynı v büyüklüğünde hıza ulaşmaları durumunda çizgisel momentum değişimleri

$\Delta P_1 = m \cdot v = \Delta P \Longrightarrow F \cdot \Delta t_1 = \Delta P$

$\Delta P_2 = 4m \cdot v = 4\Delta P \Longrightarrow F \cdot \Delta t_2 = 4\Delta P$

$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{1}{4}$ olur.

c) Cisimler aynı kinetik enerjiye ulaştığında $(E_K)_1 = (E_K)_2$ olur. Buna göre

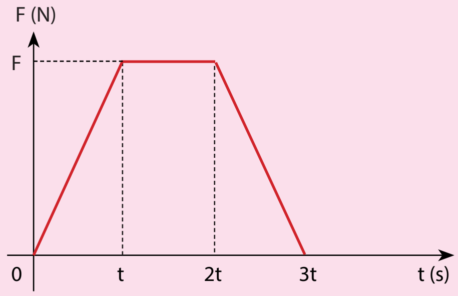
$\frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} 4m \cdot v_2^2 \Longrightarrow v_1^2 = 4v_2^2 \Longrightarrow v_1 = 2v_2$

$\Delta P_1 = F \cdot \Delta t_1 = m \cdot v_1 = m \cdot 2v_2$

$\Delta P_2 = F \cdot \Delta t_2 = 4m \cdot v_2 = 4m \cdot v_2$

$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{1}{2}$ olur.

72. ALIŞTIRMA



Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde durmakta olan bir cisme uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir. t anında cismin çizgisel momentumunun büyüklüğü P ve kinetik enerjisi E'dir.

Buna göre 2t ve 3t anlarında cismin

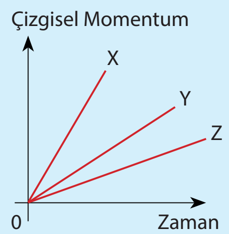
a) Çizgisel momentumunun büyüklüğü kaç P olur?
b) Kinetik enerjisi kaç E olur?

ÇÖZÜM

93. ÖRNEK

Sırayla $\vec{F}_X$, $\vec{F}_Y$ ve $\vec{F}_Z$ kuvvetlerinin etkisindeki X, Y ve Z cisimlerine ait çizgisel momentum-zaman grafikleri şekildeki gibidir.

Buna göre cisimlere uygulanan kuvvetlerin büyüklüklerini sıralayınız.



ÇÖZÜM

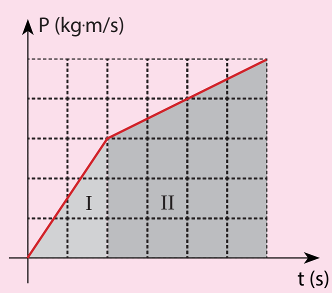
İtme, çizgisel momentum değişimine eşit olduğundan $\vec{I} = \Delta\vec{P} = \vec{F} \cdot \Delta t$ olur.

$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta t}{\Delta t} = F$ olduğundan çizgisel momentum-zaman grafiklerinde eğim, kuvveti verir. Buna göre kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki ilişki $F_X > F_Y > F_Z$ olur.

73. ALIŞTIRMA

Bir cisme ait çizgisel momentum-zaman grafiği eşit bölmelere ayrılmış düzlemde verilmiştir. I. bölgede cisme etkiyen net kuvvet $\vec{F}_1$, II. bölgede ise $\vec{F}_2$'dir.

Buna göre kuvvetlerin büyüklükleri $\frac{F_1}{F_2}$ oranı kaçtır?

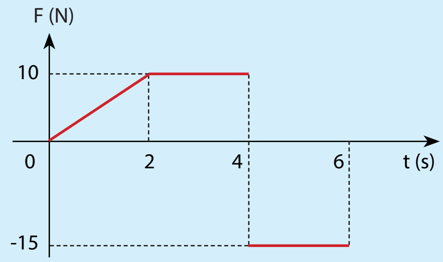


ÇÖZÜM

94. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde hareket başlangıcındaki hızının büyüklüğü 5 m/s olan 2 kg kütleli cisme ait kuvvet-zaman grafiği şekilde verilmiştir.

Buna göre cismin 0-6 s aralığındaki çizgisel momentum-zaman grafiğini çiziniz.



ÇÖZÜM

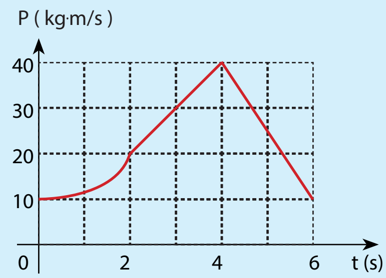
Kuvvet-zaman grafiğinde grafikle yatay eksen arasında kalan alan, cisme uygulanan itmeyi aynı zamanda da cismin çizgisel momentumundaki değişimi verir. Cismin ilk çizgisel momentumu

$P_{ilk} = m \cdot \mathcal{V} = 2 \cdot 5 = 10$ kg·m/s olur.

0-2 s arası çizgisel momentum değişimi $\Delta P_1 = \frac{10 \cdot 2}{2} = 10$ kg·m/s

2-4 s arası çizgisel momentum değişimi $\Delta P_2 = 2 \cdot 10 = 20$ kg·m/s

4-6 s arası çizgisel momentum değişimi $\Delta P_3 = -2 \cdot 15 = -30$ kg·m/s olur. Bulunan değerler ilk çizgisel momentum değerinin üzerine sıra ile toplanarak grafik üzerine yerleştirildiğinde cismin çizgisel momentum-zaman grafiği şekildeki gibi olur.



Ç) ÇİZGİSEL MOMENTUMUN KORUNUMU

Simülasyon 1.2: Çizgisel Momentumun Korunumu

SİMÜLASYON VAR

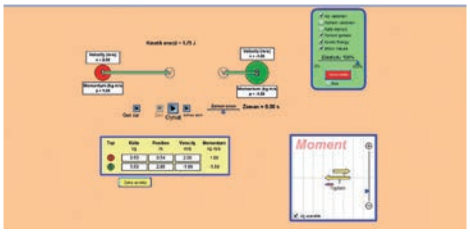
Simülasyonun Amacı

Çizgisel momentumun korunumunu incelemek

Verilen karekodu okutarak simülasyonu açınız. Görsel I'deki ekran görüntüsünde belirtilen "Detaylı bilgi" bölümüne tıklayarak kütle ve hız değerlerinin ayarlanacağı menüyü açınız. Ekranın sağ üst köşesindeki menüdeki "Hız Vektörleri", "Moment Şeması", "Kinetic Energy" ve "Show Values" kutucuklarını işaretleyiniz. Aynı menüdeki "Elasticity" ayarı çarpışmanın esnek olup olmadığını kontrol etmektedir. Eğer "Elasticity" %100 ise çarpışma tam esnektir. Ekranın sağ alt köşesinde açılan menü çarpışan cisimlere ait momentum vektörleri ile toplam momentum vektörünü göstermektedir.

Simülasyonun Uygulanışı

1. Kırmızı renkli (1) topun kütlesini 0,50 kg ve hızını 2 m/s olarak ayarlayınız. Yeşil renkli (2) topun kütlesini 1,50 kg ve hızını -1 m/s olarak ayarlayınız. Ayarları yapmak için ekranın altındaki menüye ilgili değerleri giriniz.



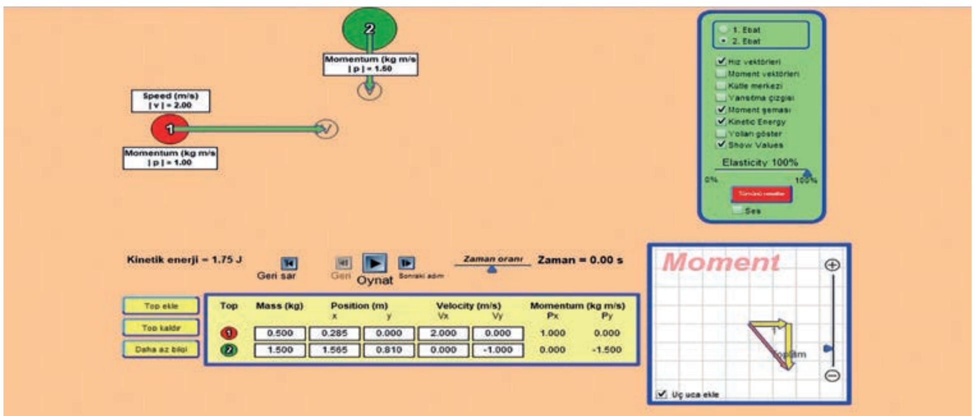
Görsel I

Simülasyon 1.2'nin devamı

2. Cisimlerin kütle ve hızlarını sırasıyla tablodaki değerlere ayarlayarak çarpışmalarını sağlayınız. Ayrı ayrı her durum için cisimlerin momentumlarını ve toplam momentumu ilgili yerlere yazınız.

Tablo I

		Çarpışmadan Önce						Çarpışmadan Sonra					
1. Cismin Kütlesi (kg)	2. Cismin Kütlesi (kg)	1. Cismin Hızı (m/s)	1. Cismin Momentumu (kg·m/s)	2. Cismin Hızı (m/s)	2. Cismin Momentumu (kg·m/s)	Toplam Momentum (kg·m/s)	Toplam Kinetik Enerji (J)	1. Cismin Hızı (m/s)	1. Cismin Momentumu (kg·m/s)	2. Cismin Hızı (m/s)	2. Cismin Momentumu (kg·m/s)	Toplam Momentum (kg·m/s)	Toplam Kinetik Enerji (J)
0,5	1,5	2		-1									
1	1	2		0,5									
1	2	2		-1									



Görsel II

3. Görsel II'deki ekran görüntüsünde gösterildiği gibi "Elasticity" ayarını %0 yapınız ve önceki adımları tekrarlayınız. Ekranın üst kısmında yer alan "Advanced" sekmesini açınız. Topların hareket doğrultuları, kütleleri ve hızlarını şekildeki gibi ayarlayınız.

4. Gösterimi başlatarak cisimlerin çarpışmasını ve sonrasında izledikleri yolları gözlemleyiniz. Çarpışma öncesi ile sonrasındaki çizgisel momentum vektörlerini inceleyiniz.

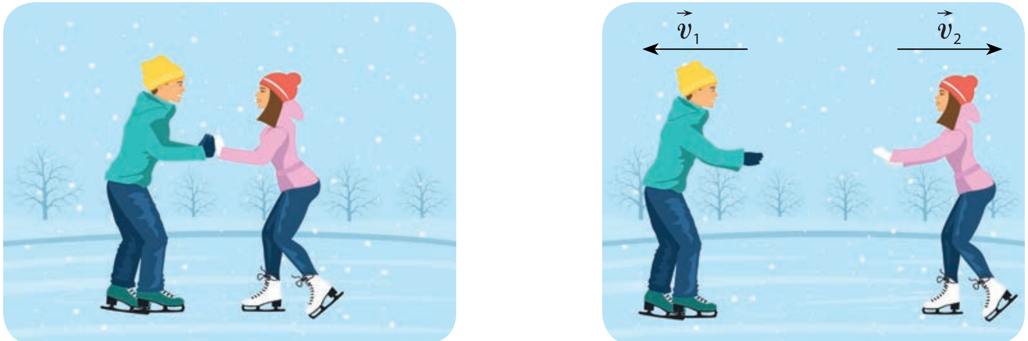
5. Çarpışma öncesi toplam momentum ve çarpışma sonrası toplam momentum vektörlerini karşılaştırınız. Çarpışma öncesi ve sonrası toplam kinetik enerji değerlerini karşılaştırınız.

Değerlendirme

1. Tablodaki verileri kullanarak cisimlerin hız ve çizgisel momentum değişimlerini yorumlayınız?

2. Tablodaki verilerden çarpışma öncesi ve sonrası toplam çizgisel momentum değerlerini karşılaştırınız?

3. Esnek ve esnek olmayan çarpışma esnasında kinetik enerji kaybı var mıdır?



a) Buz pateni yapan çocukların birbirini itmesi **b)** Çocukların itmeden sonraki hareketleri

Görsel 1.15: Buz üzerinde duran ve farklı kütlelere sahip çocukların birbirine uyguladığı kuvvet

m_1 ve m_2 kütleli iki çocuk sürtünmelerin ihmal edildiği buz üzerinde dururken çocuklardan biri, diğerini F_1 büyüklüğünde bir kuvvet ile iterse kendisine de F_2 büyüklüğünde bir tepki kuvveti etki eder (Görsel 1.15.a). Eşit büyüklükte ve zıt yönlü olan bu etkileşim kuvvetleri her iki çocuğu zıt yönde iter. Çocuklar zıt yönde kaymaya başlar (Görsel 1.15.b).

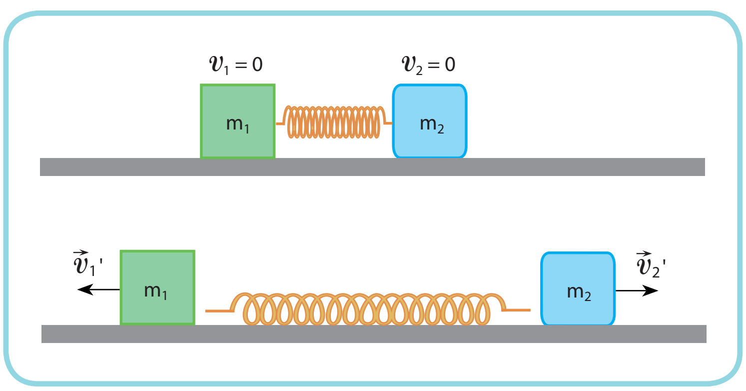
$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ eşitliğinin her iki tarafı etkileşim süresi ile çarpılırsa

$\vec{F}_1 \cdot \Delta t = -\vec{F}_2 \cdot \Delta t \implies \vec{I}_1 = -\vec{I}_2$ olur. Çocuklara uygulanan itmeler de çocukların çizgisel momentum değişimlerine eşit olduğundan $\Delta\vec{P}_1 = -\Delta\vec{P}_2$ olur. Buradan

$$\vec{P}_{1son} - \vec{P}_{1ilk} = -(\vec{P}_{2son} - \vec{P}_{2ilk}) \implies \vec{P}_{1son} - \vec{P}_{1ilk} = -\vec{P}_{2son} + \vec{P}_{2ilk} \implies \vec{P}_{1ilk} + \vec{P}_{2ilk} = \vec{P}_{1son} + \vec{P}_{2son}$$

elde edilir. Çocukların birbirlerini itmeden önceki çizgisel momentumlarının toplamı, birbirlerini ittikten sonraki çizgisel momentumlarının toplamına eşittir. Yani toplam çizgisel momentum korunur. Dış kuvvet etkisi olmayan bir sistemde iki veya daha fazla parçacık etkileştiğinde sistemin toplam çizgisel momentumu sabit kalır. Yani bir sistemin toplam çizgisel momentumu her zaman sistemin ilk çizgisel momentumuna eşittir. Bu sonuca da **çizgisel momentumun korunumu** denir. Çizgisel momentumun korunumu; birbirini iten cisimler, çarpışan cisimler, çarpışma sonucu kenetlenen cisimler ve iç patlama sonucu parçalanan cisimler gibi sistemler için de geçerlidir.

Sürtünmelerin ihmal edildiği yüzey üzerindeki durgun iki kütle arasına sıkıştırılarak tutulan bir yay serbest bırakıldığında yay tarafından itilen kütleler zıt yönlerde harekete geçer (Şekil 1.56). Başlangıçta durgun olan sistemin ilk çizgisel momentumu sıfırdır. Sisteme dışarıdan kuvvet etki etmediği için çizgisel momentum korunur ve sistemin ilk çizgisel momentumu, son çizgisel momentumuna eşit olur.



Şekil 1.56: Aralarında sıkıştırılmış yay bulunan iki cismin yay serbest bırakıldığında yaptığı hareket

$P_{ilk} = P_{son} = 0$

$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$

$m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot 0 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$

$0 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$

$m_1 \cdot v_1' = -m_2 \cdot v_2'$ olur.

Cisimler zıt yönde eşit büyüklükte çizgisel momentum ile hareket eder. Bu durumda cisimlerin hız büyüklükleriyle kütleleri ters orantılı olur.



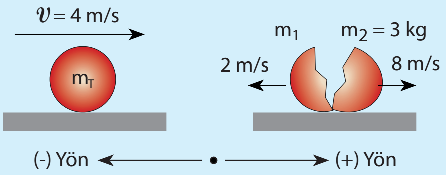
Görsel 1.16: İç patlama yapan bir cisim

Patlama olaylarında cisim bölünerek daha küçük parçalara ayrılır. (Görsel 1.16). Bir dış kuvvet etkisi olmadan iç kuvvetler ile parçalara ayrılan cisimlerden oluşan sistemin çizgisel momentumu korunur. Patlama öncesi cismin çizgisel momentumu, patlamayla oluşan parçaların çizgisel momentumlarının toplamına eşit olur.

Sabit hızlarla çarpışan cisimlerde de iki cisim çarpıştıktan sonra ayrı ayrı ya da birleşerek hareket ederlerse dış kuvvet etkisi yoksa toplam çizgisel momentum korunur. Patlama ve çarpışma gibi olaylarda çizgisel momentum her zaman korunurken sistemin sahip olduğu kinetik enerjinin her zaman korunduğu söylenemez. Olay sırasında gerçekleşen şekil değişimi, ısı, ışık ve ses çıkması ya da çarpışan cisimlerin dönmesi gibi durumlarda sistemin kinetik enerjisi korunmaz.

95. ÖRNEK

Şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde 4 m/s büyüklüğünde hızla gitmekte olan cisim iç patlamayla iki parçaya ayrılmaktadır.



3 kg kütleli parça 8 m/s büyüklüğünde, diğer parça ise 2 m/s büyüklüğünde sabit hızlarla zıt yönlerde hareket ettiğine göre cismin toplam kütlesi kaç kg'dır?

ÇÖZÜM

Cismin patlamadan önceki çizgisel momentumu ile patlamadan sonraki çizgisel momentumu birbirine eşittir.

$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$

$m_{toplam} \cdot \mathcal{V} = -m_1 \cdot \mathcal{V}_1 + m_2 \cdot \mathcal{V}_2$

$m_{toplam} \cdot 4 = -m_1 \cdot 2 + 3 \cdot 8$

$(m_1 + 3) \cdot 4 = -m_1 \cdot 2 + 3 \cdot 8 \Longrightarrow 6m_1 = 12 \Longrightarrow m_1 = 2$ kg

$m_{toplam} = m_1 + m_2$

$m_{toplam} = 2 + 3 = 5$ kg olur.

D) ÇARPIŞMALAR

Dış kuvvetlerin etkisi olmadan gerçekleşen sabit hızlı cisimlerin çarpışma olaylarında çizgisel momentum daima korunduğu için çarpışmalar isimlendirilirken sistemin kinetik enerji korunumuna bakılır. Sistemin kinetik enerjisinin korunduğu ya da korunmadığı durumlara göre çarpışmalar esnek ve esnek olmayan çarpışmalar olarak isimlendirilir. Bir sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşitse sistemin kinetik enerjisi korunmuştur. Bu tür çarpışmalara **esnek çarpışmalar** denir. Çarpışma sırasında cisimlerde şekil değişikliği, yapışma, ses, ısı ya da ışık çıkması gibi durumlar oluşursa bu sistemin çarpışmadan önceki ve sonraki kinetik enerjileri birbirine eşit olmaz çünkü sistem enerji kaybeder. Bu tür çarpışmalara da **esnek olmayan çarpışmalar** denir. Esnek olmayan çarpışmalarda cisimler çarpışmadan sonra birbirine yapışarak hareket edebilir. Cisimlerin yapışması durumunda çarpışma **tamamen esnek olmayan çarpışma** olarak ifade edilir.



Şekil 1.57: Bir boyutta (merkezî) çarpışma yapan cisimler

Bir doğru üzerinde duran cisimler, v_1 ve v_2 büyüklüğünde hızlar ile tam merkezleri karşılıklı gelecek şekilde çarpışırlarsa çarpıştıktan sonra yine aynı doğrultu üzerinde çarpışma türüne göre birleşerek ya da ayrı ayrı hareket eder (Şekil 1.57). Bu tür çarpışmalara **bir boyutta** (**merkezî**) **çarpışmalar** denir.



Şekil 1.58: İki boyutta (merkezî olmayan) çarpışma yapan cisimler

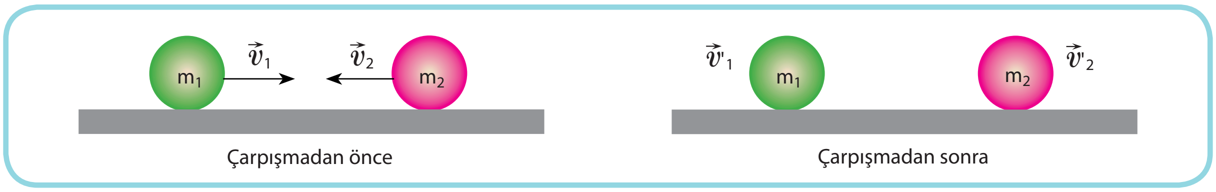
Cisimler, merkezleri farklı doğrultu üzerinde olacak şekilde v_1 ve v_2 büyüklüğünde hızlar ile çarpıştığında yapışarak ya da ayrılarak ilerleme doğrultularını değiştirir (Şekil 1.58). Bu tür çarpışmalara **iki boyutta (merkezî olmayan) çarpışmalar** denir.

74. ALIŞTIRMA

Tablodaki cisimlerin çarpışmalarının türlerini verilen boşluklara yazınız.

Çarpışan Cisimler	Çarpışma Boyutu	Çarpışma Türü
Bilardo topu-Bilardo topu	Bir boyutta	
Cam macunu-Cam macunu	Bir boyutta	
Bilardo topu-Cam macunu	İki boyutta	
Tenis topu-Tenis topu	Bir boyutta	
Misket-Misket	İki boyutta	

Bir Boyutta Esnek Çarpışmalar



Şekil 1.59: Bir boyutta esnek çarpışma yapan cisimler

m_1 ve m_2 kütleli cisimler, υ_1 ve υ_2 büyüklüğünde hızlarla bir boyutta esnek çarpışma yaparsa çarpışmadan sonra υ'_1 ve υ'_2 büyüklüğünde hızlarla aynı doğrultuda hareket eder. Sistemin çarpışmadan önceki toplam çizgisel momentumu, çarpışmadan sonrakine eşit olur (Şekil 1.59). Hız yönü pozitif kabul edilirse çizgisel momentumun korunumundan

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2$$

$$m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2 = m_1 \cdot \vec{\upsilon}'_1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}'_2$$

$$m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1 - m_1 \cdot \vec{\upsilon}'_1 = m_2 \cdot \vec{\upsilon}'_2 - m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2$$

$$m_1(\vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}'_1) = m_2(\vec{\upsilon}'_2 - \vec{\upsilon}_2) \text{ bulunur.}$$

Sistemin çarpışmadan önceki toplam kinetik enerjisi, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjisine eşittir. m_1 kütleli cismin kinetik enerjisi çarpışmadan önce E_1, çarpışmadan sonra E_1' ve m_2 kütleli cismin kinetik enerjisi çarpışmadan önce E_2, çarpışmadan sonra E_2' ise

$$E_1 + E_2 = E'_1 + E'_2$$

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot \upsilon_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \upsilon_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot \upsilon_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \upsilon_2'^2$$

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot \upsilon_1^2 - \frac{1}{2}m_1 \cdot \upsilon_1'^2 = \frac{1}{2}m_2 \cdot \upsilon_2'^2 - \frac{1}{2}m_2 \cdot \upsilon_2^2$$

$$m_1 \cdot \upsilon_1^2 - m_1 \cdot \upsilon_1'^2 = m_2 \cdot \upsilon_2'^2 - m_2 \cdot \upsilon_2^2$$

$$m_1(\upsilon_1^2 - \upsilon_1'^2) = m_2(\upsilon_2'^2 - \upsilon_2^2)$$

$$m_1(\upsilon_1 - \upsilon_1')(\upsilon_1 + \upsilon_1') = m_2(\upsilon_2' - \upsilon_2)(\upsilon_2' + \upsilon_2)$$

$$m_1(\vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}'_1) \cdot (\vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}'_1) = m_2(\vec{\upsilon}'_2 - \vec{\upsilon}_2) \cdot (\vec{\upsilon}'_2 + \vec{\upsilon}_2) \text{ olur.}$$

Enerji ve çizgisel momentumun korunumu denklemlerinden elde edilen sonuçlar oranlanırsa

$$\frac{m_1(\vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}'_1) \cdot (\vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}'_1)}{m_1(\vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}'_1)} = \frac{m_2(\vec{\upsilon}'_2 - \vec{\upsilon}_2) \cdot (\vec{\upsilon}'_2 + \vec{\upsilon}_2)}{m_2(\vec{\upsilon}'_2 - \vec{\upsilon}_2)}$$

$$\vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}'_1 = \vec{\upsilon}_2 + \vec{\upsilon}'_2 \quad \text{olur.}$$

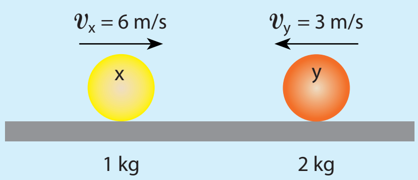
Buna göre esnek çarpışma yapan cisimlerden birinin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının toplamı, diğerinin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının toplamına eşittir.

$$\vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}'_1 = \vec{\upsilon}_2 + \vec{\upsilon}'_2 \text{ eşitliği düzenlenirse}$$

$$\vec{\upsilon}_1 - \vec{\upsilon}_2 = -(\vec{\upsilon}'_1 - \vec{\upsilon}'_2) \text{ elde edilir.}$$

Bu eşitliğe göre esnek çarpışmalarda iki cismin çarpışmadan önceki bağıl hızlarının, çarpışmadan sonraki bağıl hızlarının negatifine eşit olduğu görülür.

96. ÖRNEK



Şekildeki 1 kg kütleli x ve 2 kg kütleli y cisimleri sırasıyla 6 m/s ve 3 m/s büyüklüğündeki hızlarla sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde esnek çarpışma yapmaktadır.

Buna göre cisimlerin çarpışmadan sonraki hızlarınının büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM

Çizgisel momentumun korunumu denklemine göre

$\vec{P}_x + \vec{P}_y = \vec{P}'_x + \vec{P}'_y \Longrightarrow m_x \cdot \vec{v}_x + m_y \cdot \vec{v}_y = m_x \cdot \vec{v}'_x + m_y \cdot \vec{v}'_y$ olur.

x cisminin hareket yönü (+) kabul edilerek

$m_x \cdot v_x - m_y \cdot v_y = m_x \cdot v'_x + m_y \cdot v'_y$

$6 \cdot 1 - 2 \cdot 3 = 1v'_x + 2v'_y \Longrightarrow 0 = v'_x + 2v'_y$ denklemi elde edilir.

Esnek çarpışma yapan cisimlerden birinin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının toplamı, diğerinin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının toplamına eşit olduğundan

$\vec{v}_x + \vec{v}'_x = \vec{v}_y + \vec{v}'_y \Longrightarrow 6 + v'_x = -3 + v'_y \Longrightarrow 9 = v'_y - v'_x$ denklemi elde edilir.

Çizgisel momentum korunumu ve hız ile ilgili ifadelerden elde edilen denklemler ortak çözülerek

$0 = v'_x + 2v'_y \Longrightarrow 9 = v'_y - v'_x \Longrightarrow 9 = 3v'_y$

$v'_y = 3$ m/s bulunur. y cismi, 3 m/s büyüklüğünde hızla (+) yönde hareket etmektedir.

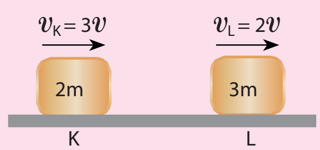
$v'_x = -6$ m/s bulunur. x cismi, 6 m/s büyüklüğünde hızla (-) yönde hareket etmektedir.

Bilgi Notu

Eşit çizgisel momentumlarla bir boyutta (merkezî) esnek çarpışma yapan cisimler, çarpışmadan sonra kendi hızlarının büyüklüğünde hızlarla geri döner.

75. ALIŞTIRMA

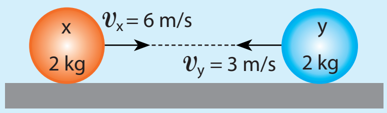
2m kütleli K cismi $3v$ büyüklüğünde ve 3m kütleli L cismi $2v$ büyüklüğünde hızla şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde hareket etmektedir.



Bir süre sonra cisimler bir boyutta esnek çarpışma yaptığına göre K ve L cisimlerinin çarpışmadan sonraki hızlarının büyüklüğü kaç v olur?

ÇÖZÜM

97. ÖRNEK



Şekilde verilen 2 kg kütleli x ve y cisimleri sırasıyla 6 m/s ve 3 m/s büyüklüğünde hızlarla bir boyutta esnek çarpışma yapmaktadır.

Buna göre cisimlerin çarpışmadan sonraki hızları kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

Çizgisel momentumun korunumu denklemine göre

$\vec{P}_x + \vec{P}_y = \vec{P'}_x + \vec{P'}_y \Longrightarrow m_x \cdot \vec{\upsilon}_x + m_y \cdot \vec{\upsilon}_y = m_x \cdot \vec{\upsilon'}_x + m_y \cdot \vec{\upsilon'}_y$ olur. x cisminin hareket yönü pozitif kabul edilerek

$m_x \cdot \upsilon_x - m_y \cdot \upsilon_y = m_x \cdot \upsilon'_x + m_y \cdot \upsilon'_y$

$2 \cdot 6 - 2 \cdot 3 = 2\upsilon'_x + 2\upsilon'_y \Longrightarrow 12 - 6 = 2\upsilon'_x + 2\upsilon'_y \Longrightarrow 6 = 2\upsilon'_x + 2\upsilon'_y$

$3 = \upsilon'_x + \upsilon'_y$ denklemi elde edilir.

$\vec{\upsilon}_x + \vec{\upsilon'}_x = \vec{\upsilon}_y + \vec{\upsilon'}_y$ ifadesine göre

$6 + \upsilon'_x = -3 + \upsilon'_y \Longrightarrow 9 = \upsilon'_y - \upsilon'_x$ denklemi elde edilir. Elde edilen denklemler ortak çözülürse

$$\left.\begin{aligned} 3 &= \upsilon'_x + \upsilon'_y \\ 9 &= \upsilon'_y - \upsilon'_x \end{aligned}\right\} 12 = 2\upsilon'_y \Longrightarrow \upsilon'_y = 6 \text{ m/s}$$

$\upsilon'_x = -3$ m/s bulunur.

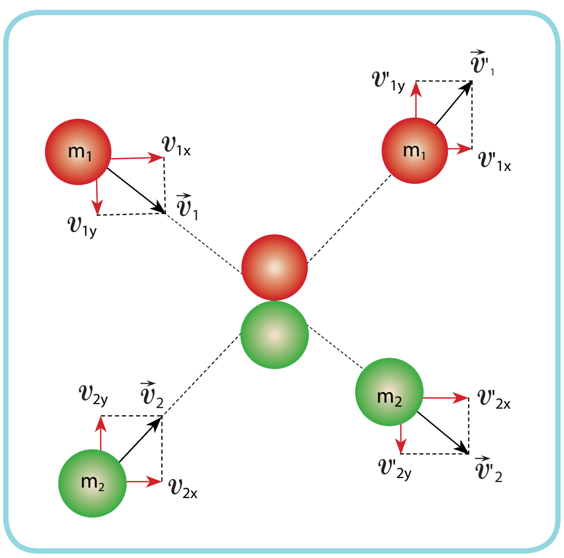
Bilgi Notu

Eşit kütleli cisimler, bir boyutta esnek çarpışma yaparsa çarpışmadan sonra birbirinin hızını alır.

İki Boyutta Esnek Çarpışmalar

m_1 ve m_2 kütleli cisimler υ_1 ve υ_2 büyüklüğünde hızlarla Şekil 1.60'taki gibi iki boyutta esnek çarpışma yaparsa sistemde hem çizgisel momentum hem de kinetik enerji korunur. Cisimler çarpışmadan önce ve sonra tek doğrultuda hareket etmediği için cisimlerin çizgisel momentumu iki boyutta incelenir.

Cisimlerin çarpışmadan önceki çizgisel momentumlarının yatay bileşenleri toplamı, çarpışmadan sonraki yatay bileşenlerin toplamına eşittir. Buna göre



Şekil 1.60: İki boyutta esnek çarpışma yapan cisimler

$$\vec{P}_{1x} + \vec{P}_{2x} = \vec{P'}_{1x} + \vec{P'}_{2x}$$

$$m_1 \cdot \vec{\upsilon}_{1x} + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_{2x} = m_1 \cdot \vec{\upsilon'}_{1x} + m_2 \cdot \vec{\upsilon'}_{2x} \text{ olur.}$$

Cisimlerin çarpışmadan önceki çizgisel momentumlarının düşey bileşenleri toplamı, çarpışmadan sonraki düşey bileşenlerin toplamına eşittir. Buna göre

$$\vec{P}_{1y} + \vec{P}_{2y} = \vec{P'}_{1y} + \vec{P'}_{2y}$$

$$m_1 \cdot \vec{\upsilon}_{1y} + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_{2y} = m_1 \cdot \vec{\upsilon'}_{1y} + m_2 \cdot \vec{\upsilon'}_{2y} \text{ olur.}$$

Sistemin çarpışmadan önceki toplam kinetik enerjisi, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjisine eşittir. Buna göre

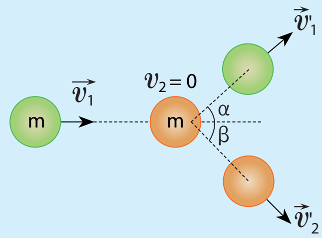
$$E_1 + E_2 = E'_1 + E'_2$$

$$\frac{1}{2}m_1 \cdot \upsilon_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \upsilon_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot \upsilon_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \upsilon_2'^2 \text{ olur.}$$

98. ÖRNEK

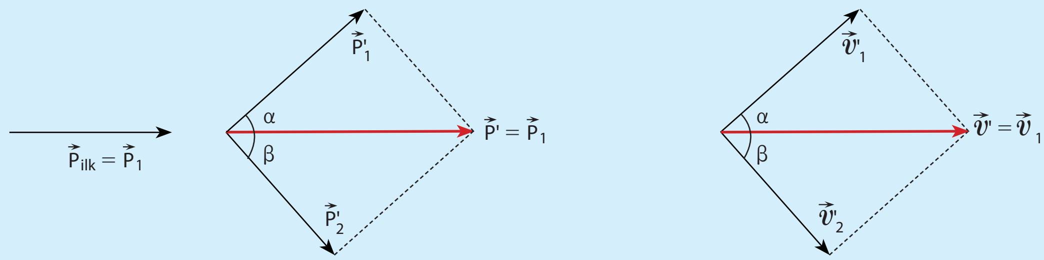
m kütleli v_1 büyüklüğünde hıza sahip cisim, durmakta olan m kütleli cisimle esnek çarpışma yapmaktadır.

Çarpışmadan sonra cisimler $\vec{v}'_1$ ve $\vec{v}'_2$ hızlarıyla şekildeki gibi hareket ettiğine göre cisimlerin çarpışmadan sonraki hareket doğrultuları arasındaki açı kaç derece olur?



ÇÖZÜM

Cisimler esnek çarpışma yaptığı için çizgisel momentumla birlikte kinetik enerji de korunur. Çizgisel momentum korunumuna göre çarpışmadan önceki toplam çizgisel momentum, çarpışmadan sonrakine eşit olmalıdır.



Çarpışmadan önce Çarpışmadan sonra

Esnek çarpışma yapan cisimlerde kinetik enerji korunduğu için

$E_1 + E_2 = E'_1 + E'_2$

$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2'^2$

$\frac{1}{2}m \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m \cdot 0^2 = \frac{1}{2}m \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2}m \cdot v_2'^2$

$v_1^2 = v_1'^2 + v_2'^2$ olur. Bu ifade cisimlerin çarpışmadan sonra birbirlerinden 90° lik açı ile uzaklaştığını gösterir.

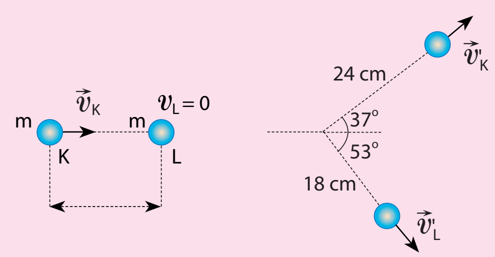
Bilgi Notu

Biri durgun hâldeki eşit kütleli cisimler iki boyutta esnek çarpışma yaparsa çarpışmadan sonra cisimlerin hareket doğrultuları arasındaki açı 90° olur.

76. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde m kütleli K cismi durmakta olan m kütleli L cismine çarpmaktadır. Cisimlerin çarpışmadan t saniye önce ve t saniye sonraki alınan görüntüleri şekilde gösterilmiştir.

Buna göre ilk görüntüdeki KL noktaları arasındaki uzaklık kaç cm olur?
(sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s² alınız.)



Çarpışmadan t saniye önce Çarpışmadan t saniye sonra

ÇÖZÜM

Bir Boyutta Esnek Olmayan Çarpışmalar



Şekil 1.61: Bir boyutta esnek olmayan çarpışma yapan cisimler

m_1 ve m_2 kütleleri, v_1 ve v_2 büyüklüğünde hızlarla Şekil 1.61'deki gibi tek boyutta esnek olmayan çarpışma yaparsa çarpışmadan sonra v'_1 ve v'_2 büyüklüğündeki hızlarla aynı doğrultuda hareket eder. Sistemin çarpışmadan önceki toplam çizgisel momentumu, çarpışmadan sonrakine eşit olur. Buna göre

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2$

$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}'_1 + m_2 \cdot \vec{v}'_2$ olur.

m_1 kütlesinin hareket yönü pozitif seçilirse

$m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$ olur.

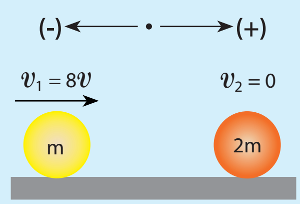
Esnek olmayan çarpışmada kinetik enerji korunmaz. Sistemin çarpışmadan önceki kinetik enerjisinin toplamı, çarpışmadan sonrakinden büyüktür.

$E_1 + E_2 > E'_1 + E'_2$

$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 > \frac{1}{2}m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2'^2$ olur.

99. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde m kütleli cisim, $8v$ büyüklüğünde hız ile durmakta olan 2m kütleli cisme merkezî çarpmaktadır.



a) m kütleli cisim çarpışmadan sonra $2v$ büyüklüğünde hız ile geri döndüğüne göre 2m kütleli cismin hızının büyüklüğü kaç v olur?

b) Cisimler ne tür çarpışma yapmıştır?

ÇÖZÜM

a) Sistemin çarpışmadan önceki toplam çizgisel momentumu, çarpışmadan sonrakine eşit olduğuna göre

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2$

$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = - m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$

$m \cdot 8v + 2m \cdot 0 = - m \cdot 2v + 2m \cdot v'_2$

$10m \cdot v = 2m \cdot v'_2$

$v'_2 = 5v$ hızı ile pozitif yönde gider.

b) Çarpışan cisimlerde sistemin kinetik enerjisi korunursa cisimler esnek olan, korunmazsa esnek olmayan çarpışma yapmıştır.

$E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2$

$E_{ilk} = E_{K1} + E_{K2} \Longrightarrow E_{ilk} = \frac{1}{2}m \cdot (8v)^2 + 0 = 32m \cdot v^2$

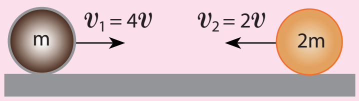
$E_{son} = E'_{K1} + E'_{K2}$

$E_{son} = \frac{1}{2}m \cdot (2v)^2 + \frac{1}{2}2m \cdot (5v)^2 = 27m \cdot v^2$

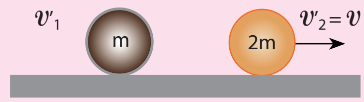
Kinetik enerjiler korunmadığına göre cisimler esnek olmayan çarpışma yapmıştır.

77. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde m kütleli cisim $4v$ büyüklüğündeki hızla, 2m kütleli cisim $2v$ büyüklüğündeki hızla birbirlerine doğru hareket ederek esnek olmayan çarpışma yapmaktadır.



Çarpışmadan Önce



Çarpışmadan Sonra

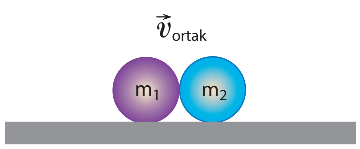
Çarpışmadan sonra 2m kütleli cisim v büyüklüğünde hızla geri döndüğüne göre m kütleli cismin hızının büyüklüğü kaç v olur?

ÇÖZÜM

Bir Boyutta Tamamen Esnek Olmayan Çarpışmalar



Çarpışmadan Önce



Çarpışmadan Sonra

Şekil 1.62: Bir boyutta tamamen esnek olmayan çarpışma yapan cisimler

m_1 ve m_2 kütleleri, v_1 ve v_2 büyüklüğünde hızlarla Şekil 1.62'deki gibi tamamen esnek olmayan çarpışma yaparak kenetlenirse kütleler birlikte v_{ortak} büyüklüğünde hızla hareket eder. Sistemin çarpışmadan önceki toplam çizgisel momentumu, çarpışmadan sonrakine eşit olur. Buna göre

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_{ortak}$

$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}_{ortak}$ olur.

m_1 kütlesinin hareket yönü pozitif seçilirse

$m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2)\, v_{ortak}$ olur.

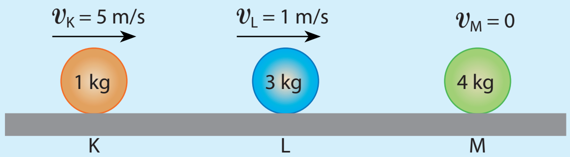
Tamamen esnek olmayan çarpışmada kinetik enerji korunmaz. Sistemin çarpışmadan önceki kinetik enerjisinin toplamı, çarpışmadan sonrakinden büyüktür.

$E_1 + E_2 > E_{ortak}$

$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 > \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\, v_{ortak}^2$ olur.

100. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde K cisminin hızının büyüklüğü 5 m/s, L cisminin de 1 m/s'dir. M cismi ise durgundur. Bir süre sonra cisimler çarpışıp kenetlenmekte ve harekete birlikte devam etmektedir.



Buna göre ortak kütlenin hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

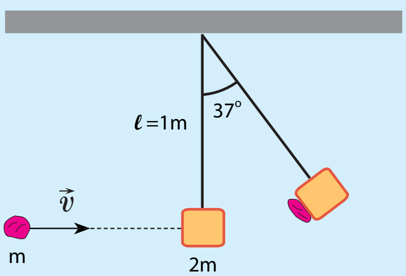
Şekildeki cisimler esnek olmayan çarpışma yaparak birlikte hareket etmektedir. Çizgisel momentum korunumuna göre

$\vec{P}_K + \vec{P}_L + \vec{P}_M = \vec{P}_{ortak}$ $\quad m_K \cdot \vartheta_K + m_L \cdot \vartheta_L + m_M \cdot \vartheta_M = (m_K + m_L + m_M)\, \vartheta_{ortak}$

$1 \cdot 5 + 3 \cdot 1 + 4 \cdot 0 = (1 + 3 + 4) \cdot \vartheta_{ortak} \implies 8 = 8\vartheta_{ortak}$

$\vartheta_{ortak} = 1$ m/s olur.

101. ÖRNEK



Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda m kütleli bir oyun hamuru, 1 m uzunluğunda esnemeyen iple asılı durmakta olan 2m kütleli tahta takoza ϑ hızıyla fırlatılarak yapıştırılmaktadır.

Takoz, düşey düzlemle en fazla 37° açı yapacak şekilde yükseldiğine göre oyun hamurunun hızının büyüklüğü kaç m/s olur? (sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

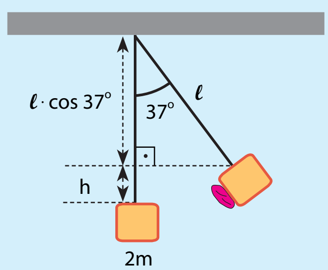
Cisimler, çarpıştıktan sonra birlikte hareket ettiği için esnek olmayan çarpışma yapmıştır.

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_{ortak} \implies m_1 \cdot \vec{\vartheta}_1 + m_2 \cdot \vec{\vartheta}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{\vartheta}_{ortak} \implies m \cdot \vartheta + 2m \cdot 0 = 3m \cdot \vartheta_{ortak}$

$\vartheta_{ortak} = \dfrac{\vartheta}{3}$ olur.

Takoz, sahip olduğu kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürene kadar yükselir. Enerji korunumundan

$\frac{1}{2} m \cdot \vartheta^2 = m \cdot g \cdot h \implies \frac{1}{2} 3m \cdot \left(\frac{\vartheta}{3}\right)^2 = 3m \cdot g \cdot h$ eşitliği elde edilir.



Takoz oyun hamuruyla birlikte h kadar yükselirse

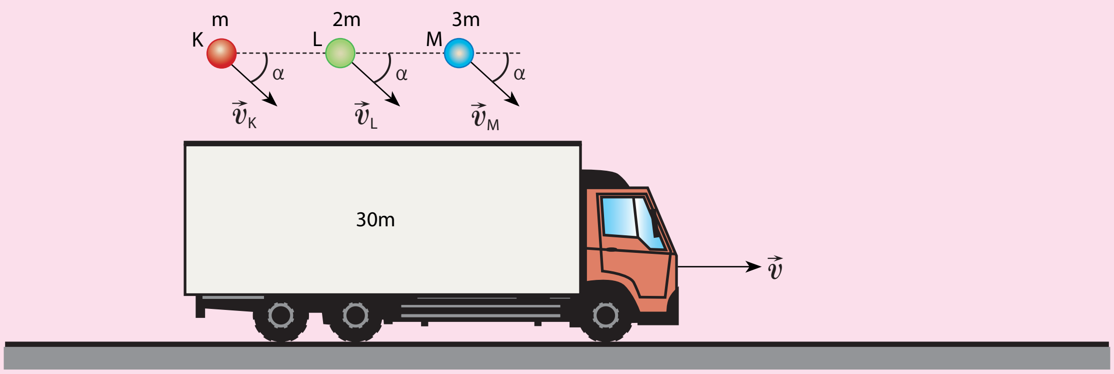
$h = \ell - \ell \cdot \cos 37°$ olduğundan $h = 1 - 1 \cdot 0{,}8 = 0{,}2$ m bulunur.

h değeri enerji eşitliğinde yerine yazıldığında

$\frac{1}{2} 3m \cdot \left(\frac{\vartheta}{3}\right)^2 = 3m \cdot 10 \cdot 0{,}2 \implies \frac{\vartheta^2}{9} = 2 \cdot 10 \cdot 0{,}2 \implies \vartheta^2 = 9 \cdot 4 \implies \vartheta = \sqrt{36} = 6$ m/s olur.

78. ALIŞTIRMA

Bir fabrikanın yükleme bandında $\mathcal{v}$ büyüklüğünde hızla gitmekte olan 30m kütleli kamyona sırasıyla kamyonun içine düşecek şekilde yatay düzlemle α açısı yapan m, 2m ve 3m kütleli yükler $\vec{v}_K$, $\vec{v}_L$ ve $\vec{v}_M$ hızlarıyla atılmaktadır.



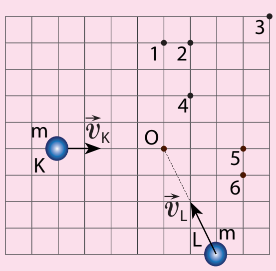
K cismi atıldığında kamyonun hızı değişmediğine, L cismi atıldığında hızı arttığına ve M cismi atıldığında ise hızı azaldığına göre

a) Kütlelerin atıldığı hız büyüklüklerini karşılaştırınız.

b) $\alpha = 60^\circ$ ve $v_K = v_L = v_M = 2v$ olacak şekilde cisimler sırayla kamyonun içerisine atılırsa kamyonun son hızı kaç v büyüklüğünde olur? (sin 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$, cos 60° = 0,5 alınız.)

ÇÖZÜM

79. ALIŞTIRMA



Şekildeki gibi eşit kare bölmelere ayrılmış sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda K ve L noktalarından $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ hızlarıyla fırlatılan m kütleli cisimler, t süre sonra O noktasında tamamen esnek olmayan çarpışma yapmaktadır.

Buna göre cisimler çarpıştıktan t süre sonra hangi noktada olur?

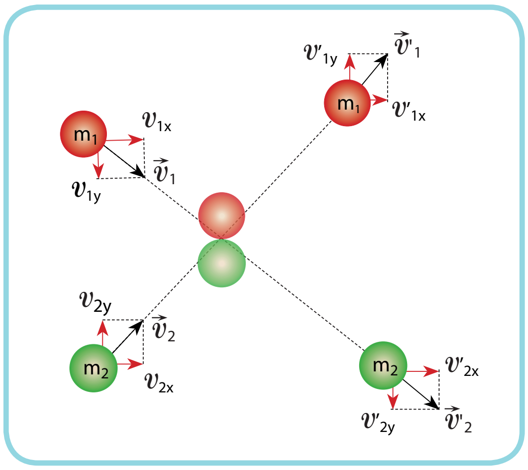
ÇÖZÜM

İki Boyutta Esnek Olmayan Çarpışma

m_1 ve m_2 kütleleri, $\vec{v}_1$ ve $\vec{v}_2$ hızlarıyla Şekil 1.63'teki gibi iki boyutta esnek olmayan çarpışma yaparsa çarpışmadan sonra $\vec{v}'_1$ ve $\vec{v}'_2$ hızlarıyla doğrultularını değiştirerek hareket eder. Çarpışmadan sonra sistemin çizgisel momentumu korunur. Cisimlerin çizgisel momentumu iki boyutta incelenir. Cisimlerin çarpışmadan önceki çizgisel momentumlarının yatay bileşenleri, çarpışmadan sonrakilere eşittir. Buna göre

$$\vec{P}_{1x} + \vec{P}_{2x} = \vec{P}'_{1x} + \vec{P}'_{2x}$$

$$m_1 \cdot \vec{v}_{1x} + m_2 \cdot \vec{v}_{2x} = m_1 \cdot \vec{v}'_{1x} + m_2 \cdot \vec{v}'_{2x} \text{ olur.}$$



Şekil 1.63: İki boyutta esnek olmayan çarpışma yapan cisimler

Cisimlerin çarpışmadan önceki çizgisel momentumlarının düşey bileşenleri, çarpışmadan sonrakilere eşittir. Buna göre

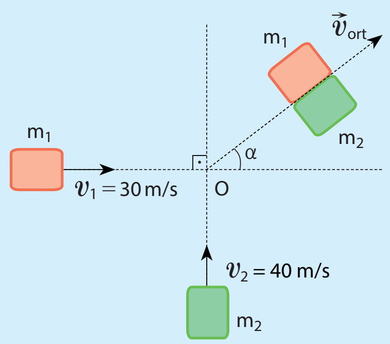
$$\vec{P}_{1y} + \vec{P}_{2y} = \vec{P}'_{1y} + \vec{P}'_{2y}$$

$$m_1 \cdot \vec{v}_{1y} + m_2 \cdot \vec{v}_{2y} = m_1 \cdot \vec{v}'_{1y} + m_2 \cdot \vec{v}'_{2y} \text{ olur.}$$

Sistemin çarpışmadan önceki kinetik enerjisinin toplamı, çarpışmadan sonrakinden büyüktür.

$E_{K1} + E_{K2} > E'_{K1} + E'_{K2}$ olur.

102. ÖRNEK



Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlem üzerinde kütleleri eşit ve 2 kg olan iki cisim 30 m/s ve 40 m/s büyüklüğünde hızlarla şekildeki gibi ilerlemektedir.

Bu cisimler O noktasında çarpışıp kenetlendiğine göre çarpışmadan sonra cisimlerin ortak hızlarının büyüklüğü kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

Cisimler iki boyutta tamamen esnek olmayan çarpışma yaptığı için çizgisel momentumun korunumu yatay ve düşey düzlemde incelenir. Yatay düzlemde çizgisel momentum korunumundan

$$\vec{P}_{1x} + \vec{P}_{2x} = \vec{P}'_{1x} + \vec{P}'_{2x}$$

$$m_1 \cdot v_1 + 0 = (m_1 + m_2) \cdot (v_{ortak})_x \Longrightarrow 2 \cdot 30 = 4(v_{ortak})_x \Longrightarrow (v_{ortak})_x = 15 \text{ m/s olur.}$$

Düşey düzlemde çizgisel momentum korunumundan

$$0 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot (v_{ortak})_y \Longrightarrow 2 \cdot 40 = 4\,(v_{ortak})_y \Longrightarrow (v_{ortak})_y = 20 \text{ m/s olur.}$$

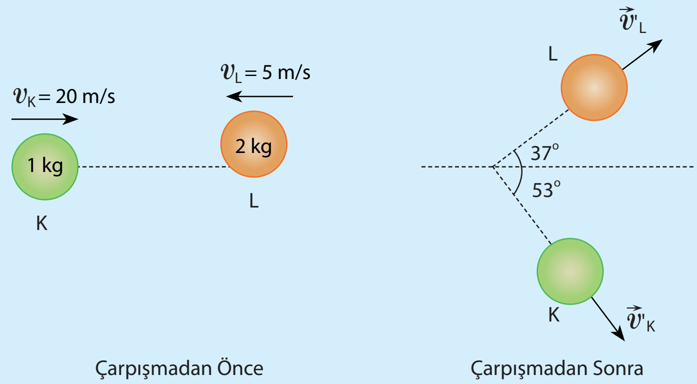
Buna göre

$$(v_{ortak})^2 = (v_{ortak})_x^2 + (v_{ortak})_y^2$$

$$v_{ortak} = \sqrt{(v_{ortak})_x^2 + (v_{ortak})_y^2} \Longrightarrow v_{ortak} = \sqrt{15^2 + 20^2} \Longrightarrow v_{ortak} = 25 \text{ m/s olur.}$$

103. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde 20 m/s büyüklüğünde hızla hareket etmekte olan 1 kg kütleli K cismi ile 5 m/s büyüklüğünde hızla hareket etmekte olan 2 kg kütleli L cismi çarpışmaktadır.



Çarpışmadan sonra K cismi yatay düzlemle 53°, L cismi de 37° açı yaparak şekildeki gibi saçıldığına göre

a) K ve L'nin son hızlarınının büyüklüğünü bulunuz.

b) Sistemde kinetik enerji kaybı kaç J olur? (sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

a) Çizgisel momentum korunum denklemine göre

$\vec{P}_K + \vec{P}_L = \vec{P}'_K + \vec{P}'_L$ olur.

Çarpışmadan sonra cisimler aynı doğrultuda hareket etmedikleri için yatay ve düşey çizgisel momentum korunumları ayrı ayrı hesaplanır. K cisminin hareket yönü pozitif kabul edilerek

Yatayda $\vec{P}_{Kx} + \vec{P}_{Lx} = \vec{P}'_{Kx} + \vec{P}'_{Lx} \implies m_K \cdot v'_K - m_L \cdot v'_L = m_K \cdot v'_K \cdot \cos 53° + m_L \cdot v'_L \cdot \cos 37°$

$1 \cdot 20 - 2 \cdot 5 = 1 \cdot v'_K \cdot 0{,}6 + 2 \cdot v'_L \cdot 0{,}8 \implies 10 = 0{,}6v'_K + 1{,}6v'_L$

Düşeyde $\vec{P}_{Ky} + \vec{P}_{Ly} = \vec{P}'_{Ky} + \vec{P}'_{Ly} \implies 0 = m_K \cdot v'_K \cdot \sin 53° - m_L \cdot v'_L \cdot \sin 37°$

$0 = 1 \cdot 0{,}8 \cdot v'_K - 2 \cdot 0{,}6 \cdot v'_L \implies 1{,}2 \cdot v'_L = 0{,}8 \cdot v'_K \implies v'_K = \frac{3}{2} v'_L$

Yataydaki çizgisel momentum korunum denkleminde $v'_K = \frac{3}{2} v'_L$ ifadesi yerine yazılırsa

$10 = \frac{3}{2} v'_L \cdot 0{,}6 + 1{,}6 \cdot v'_L \implies 10 = 2{,}5 \cdot v'_L \implies v'_L = 4$ m/s

$v'_K = \frac{3}{2} v'_L \implies v'_K = \frac{3}{2} 4 \implies v'_K = 6$ m/s olur.

b) Çarpışma öncesi $E_K = \frac{1}{2} \cdot m_K \cdot v_K^2 + \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot v_L^2$

$E_K = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 20^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 \implies E_K = 200 + 25 = 225$ J olur.

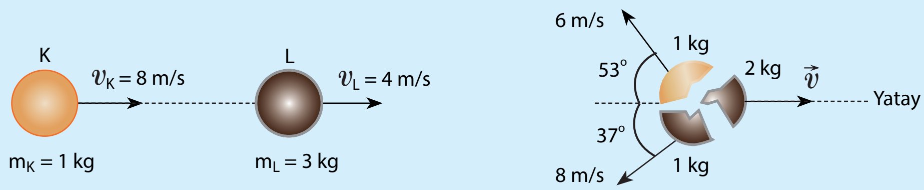
Çarpışma sonrası $E'_K = \frac{1}{2} \cdot m_K \cdot v'^2_K + \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot v'^2_L$

$E'_K = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 6^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 \implies E'_K = 18 + 16 = 34$ J olur.

Çarpışmadan önceki kinetik enerji ile çarpışmadan sonraki kinetik enerji birbirine eşit olmadığına göre kinetik enerji korunmamıştır. Sistem $E_K - E'_K = 225 - 34 = 191$ J enerji kaybetmiştir.

104. ÖRNEK

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde şekildeki yönde ilerleyen ve kütlesi 1 kg olan K cismi ile kütlesi 3 kg olan L cisminin hızlarının büyüklükleri sırasıyla 8 m/s ve 4 m/s olup cisimler çarpışıp



kenetlenmektedir.

Bir süre sonra iç patlama ile üç parçaya ayrılan cismin 1 kg kütleli iki parçası şekildeki hız ve yönlerde gittiğine göre 2 kg kütleli üçüncü parçasının hızının büyüklüğü kaç m/s olur?
(sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

Kenetlenme ve patlama sonucunda çizgisel momentum korunur. Çizgisel momentumların yatay bileşenleri için korunum yasası yazılırsa 2 kg kütleli parçanın hızının büyüklüğü

$\vec{P}_x = \vec{P}'_x$

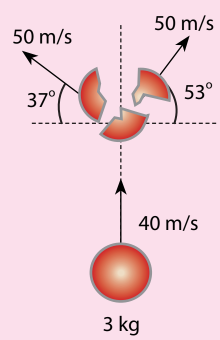
$1 \cdot 8 + 3 \cdot 4 = -(1 \cdot 6 \cdot \cos 53°) - (1 \cdot 8 \cdot \cos 37°) + 2\upsilon$

$1 \cdot 8 + 3 \cdot 4 = -(1 \cdot 6 \cdot 0{,}6) - (1 \cdot 8 \cdot 0{,}8) + 2\upsilon$

$20 = -3{,}6 - 6{,}4 + 2\upsilon \Longrightarrow \upsilon = 15$ m/s olarak bulunur.

80. ALIŞTIRMA

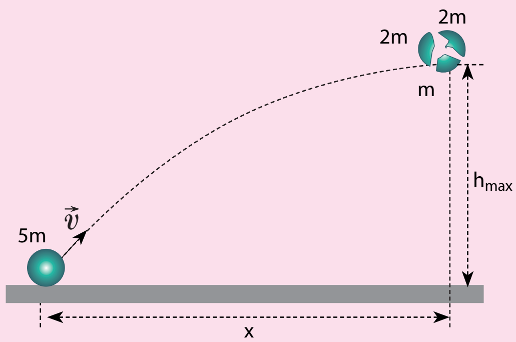
Yerden düşey olarak yukarıya doğru 40 m/s büyüklüğünde hızla atılan 3 kg kütleli cisim, 2 saniye sonra iç patlama sonucu eşit kütleli üç parçaya ayrılmıştır.



İki parça 50 m/s büyüklüğünde hızlarla şekilde gösterilen açılarla fırladığına göre üçüncü parçanın hızının büyüklüğünü ve düşeyle yapacağı açıyı bulunuz. (sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s² alınız.)

ÇÖZÜM

81. ALIŞTIRMA



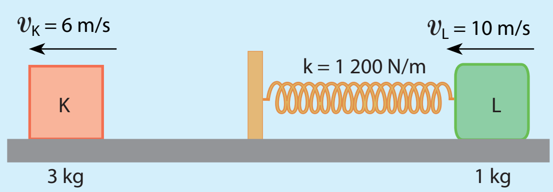
Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden eğik olarak $\vec{v}$ hızıyla atılan 5m kütleli cisim, yatayda x yolunu alarak çıkabileceği maksimum yükseklikte iç patlamayla üç parçaya ayrılmaktadır.

m kütleli parça serbest düşme hareketi yaptığına ve 2m kütleli parçalardan biri cismin atıldığı noktaya düştüğüne göre 2m kütleli diğer parça cismin atıldığı noktadan kaç x uzağa düşer?

ÇÖZÜM

105. ÖRNEK

Şekildeki sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde 3 kg kütleli K cismi 6 m/s ve 1 kg kütleli L cismi 10 m/s büyüklüğünde hızla ilerlemektedir. Bir süre sonra L kütlesine bağlı ağırlığı ihmal edilen yay, K cismine çarpmaktadır.



Yayın yay sabiti k = 1 200 N/m olduğuna göre

a) Yaydaki sıkışmanın en fazla olduğu anda K ve L cisimlerinin hızlarının büyüklükleri kaç m/s olur?

b) Yay en çok kaç m sıkışır?

ÇÖZÜM

a) Cisimlerin hızları eşitlendiğinde yay maksimum sıkışır. Çizgisel momentum korunumundan

$$\vec{P}_K + \vec{P}_L = \vec{P}_{ortak} \implies m_K \cdot \vec{v}_K + m_L \cdot \vec{v}_L = (m_K + m_L) \cdot \vec{v}_{ortak} \implies -3 \cdot 6 - 1 \cdot 10 = 4v_{ortak}$$

$v_{ortak} = -7$ m/s olur.

b) Enerji korunumundan

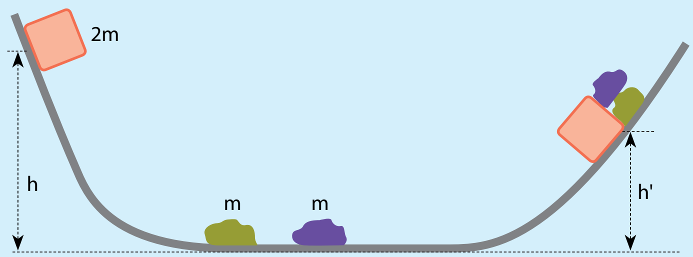
$$\frac{1}{2} m_K \cdot v_K^2 + \frac{1}{2} m_L \cdot v_L^2 = \frac{1}{2}(m_K + m_L) v_{ortak}^2 + \frac{1}{2} k \cdot x^2$$

$$\frac{1}{2} 3 \cdot 6^2 + \frac{1}{2} 1 \cdot 10^2 = \frac{1}{2}(3+1) 7^2 + \frac{1}{2} 1\,200 \cdot x^2$$

$$54 + 50 - 98 = \frac{1}{2} 1\,200 \cdot x^2 \implies x^2 = \frac{1}{100} \implies x = 0{,}1 \text{ m olur.}$$

106. ÖRNEK

Şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde h yüksekliğinden serbest bırakılan 2m kütleli cisim önüne çıkan m kütleli oyun hamurlarına yapışarak h' yüksekliğine çıkmaktadır.



Buna göre

a) h' kaç h olur?

b) Mekanik enerji % kaç azalmıştır?

ÇÖZÜM

a) Cisim, h yüksekliğindeyken potansiyel enerjiye sahiptir. Serbest bırakıldığında sahip olduğu potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşür. Buna göre

$2m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} 2m \cdot \mathcal{v}^2 \qquad h = \frac{\mathcal{v}^2}{2g}$ olur.

Toplam çizgisel momentum korunacağından

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 = \vec{P}_{ortak} \Longrightarrow 2m \cdot \mathcal{v} + m \cdot 0 + m \cdot 0 = 4m \cdot \mathcal{v}' \Longrightarrow \mathcal{v}' = \frac{\mathcal{v}}{2}$ olur.

Birbirine yapışan cisimler $\mathcal{v}'$ büyüklüğünde hız ile h' yüksekliğine kadar çıkabildiklerine göre

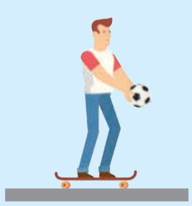
$\frac{1}{2} 4m \cdot \mathcal{v}'^2 = 4m \cdot g \cdot h' \Longrightarrow h' = \left(\frac{\mathcal{v}}{2}\right)^2 \frac{1}{2g} = \frac{\mathcal{v}^2}{8g} \Longrightarrow h' = \frac{h}{4}$ bulunur.

b) $E_{ilk} = 2m \cdot g \cdot h$

$E_{son} = 4m \cdot g \cdot \frac{h}{4} = m \cdot g \cdot h$

$E_{kayıp} = 2m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot h$ olduğundan sistemin mekanik enerjisi %50 azalmıştır.

107. ÖRNEK



Kaykayla birlikte kütlesi 9m olan bir çocuk, kaykay üzerinde durgun hâldeyken elindeki m kütleli topu $\mathcal{v}$ büyüklüğünde hızla yatay doğrultuda ve ileriye doğru fırlattığında kaykayın son hızının büyüklüğü kaç $\mathcal{v}$ olur?

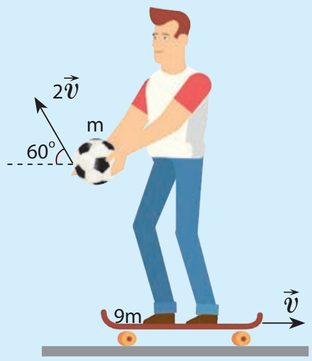
ÇÖZÜM

Çocuk topu attığı anda toplam çizgisel momentum korunacağından

$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}'_{son} \Longrightarrow 0 = m \cdot \mathcal{v} + 9m \cdot \mathcal{v}_{son} \Longrightarrow \mathcal{v}_{son} = -\frac{\mathcal{v}}{9}$ olur ve kaykay çocukla birlikte geriye doğru hareketlenir.

108. ÖRNEK

$\mathcal{V}$ büyüklüğünde hızla giden kaykay üstündeki çocuk elindeki m kütleli topu şekildeki gibi yatayla 60° açı yapacak biçimde ve kaykaya göre $2\mathcal{V}$ büyüklüğünde hızla fırlatmaktadır.



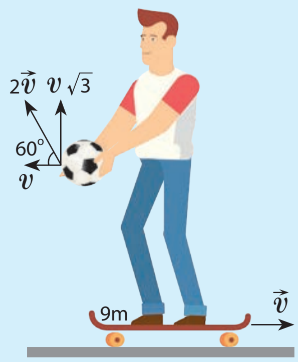
Çocukla birlikte kaykayın kütlesi 9m olduğuna göre

a) Kaykayın yere göre son hızının büyüklüğü kaç $\mathcal{V}$ olur?

b) Yerden bakan gözlemciye göre top yatayla 60° açı yapacak biçimde $2\mathcal{V}$ büyüklüğünde hızla atılırsa kaykayın son hızının büyüklüğü kaç $\mathcal{V}$ olur? (sin 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ve cos 60° = $\frac{1}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) Çizgisel momentum korunumu işlemlerinde hızların yere göre değerlerinin alınması gerekir. Çocuk topu kaykaya göre attığı için topun yere göre hızının yatay bileşeni bulunmalıdır. $\mathcal{V}'$ kaykayın son hızı ise topun yere göre hızı kaykayın hareket yönü pozitif seçilerek



$(\mathcal{V}_{\text{yere göre}})_x = -2\mathcal{V} \cdot \cos 60° + \mathcal{V}'$

$(\mathcal{V}_{\text{yere göre}})_x = -2\mathcal{V} \cdot \frac{1}{2} + \mathcal{V}'$

$(\mathcal{V}_{\text{yere göre}})_x = -\mathcal{V} + \mathcal{V}'$ bulunur.

Çocuk topu attığı anda sistemin çizgisel momentumunun yatay ve düşey bileşenleri de korunacağından

$\vec{P}_{\text{ilk}} = \vec{P}'_{\text{son}}$

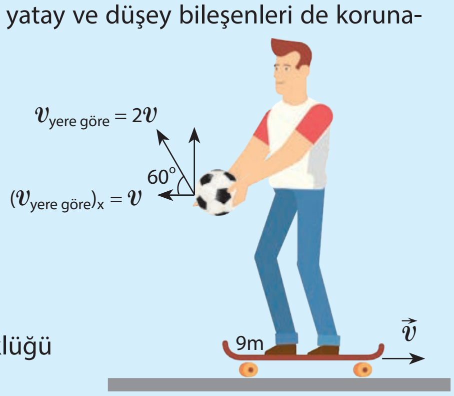
$(9m + m) \cdot \mathcal{V} = m \cdot (\mathcal{V}_{\text{yere göre}})_x + 9m \cdot \mathcal{V}'$

$10m \cdot \mathcal{V} = m \cdot (-\mathcal{V} + \mathcal{V}') + 9m \cdot \mathcal{V}'$

$11\mathcal{V} = 10\mathcal{V}'$

kaykayın yere göre son hızının büyüklüğü $\mathcal{V}' = \frac{11}{10}\mathcal{V}$ olur.

b) Çocuk topu attığı anda sistemin çizgisel momentumunun yatay ve düşey bileşenleri de korunacağından



$\vec{P}_{\text{ilk}} = \vec{P}'_{\text{son}}$

$(9m + m) \cdot \mathcal{V} = m \cdot (\mathcal{V}_{\text{yere göre}})_x + 9m \cdot \mathcal{V}'$

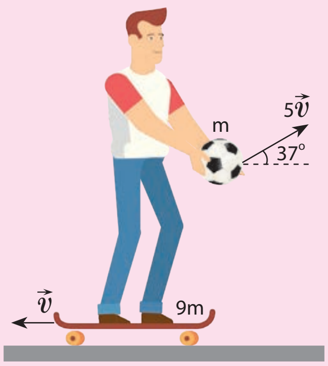
$10m \cdot \mathcal{V} = m \cdot (-\mathcal{V}) + 9m \cdot \mathcal{V}'$

$11\mathcal{V} = 9\mathcal{V}'$ bulunur.

Yerden bakan gözlemciye göre kaykayın son hızının büyüklüğü

$\mathcal{V}' = \frac{11}{9}\mathcal{V}$ olur.

82. ALIŞTIRMA



Kaykayla birlikte kütlesi 9m olan bir çocuk, v büyüklüğünde hızla giderken elindeki m kütleli topu şekildeki gibi yatayla 37° açı yapacak biçimde ve kaykaya göre $5v$ büyüklüğünde hızla fırlatmaktadır.

Bu durumda

a) Kaykayın yere göre son hızının büyüklüğü kaç v olur?

b) Yerden bakan gözlemciye göre top yatayla 37° açı yapacak biçimde $5v$ büyüklüğünde hızla atılırsa kaykayın son hızının büyüklüğü kaç v olur?

(sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM



Görsel 1.17: Uzay aracı

Bir aracın harekete geçebilmesi için maddesel ortama ihtiyacı vardır. Araç motorları, aracın çevresindeki ortamı geriye doğru iten etki kuvvetleri oluşturur. Ortam da araca tepki kuvveti göstererek onun ileriye doğru hareket etmesini sağlar. Uzay araçları, boşluktayken hareket edebilmek için kendi maddesel ortamını oluşturmak zorundadır. Uzay araçları bu ortamı katı ve sıvı yakıtları yakarak dışarı attıkları gazla oluşturur. Roket yakıtının yanmasıyla oluşan gazların dışarı püskürmesi ile uzay aracına bir itme uygulanır, bu da onun hareket etmesini sağlar (Görsel 1.17). Uzay araçlarının hızındaki değişim Momentum Korunumu Yasası ile bulunur.

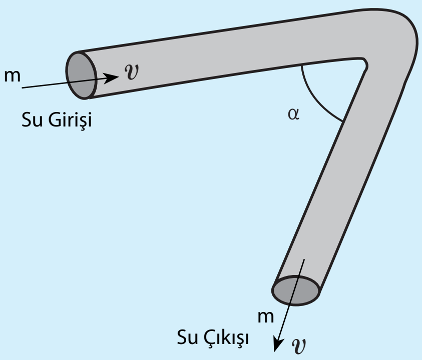


Görsel 1.18: Su roketi

Görsel 1.18'de su roketi ile havalanmış bir kişi görülmektedir. Pompa vasıtasıyla borulara gönderilen basınçlı su, yan borulardan hızla çıkarak bir itme oluşturur. Tepki kuvveti sayesinde de su roketinin yükselmesi gerçekleşir.

109. ÖRNEK

Şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlem üzerinde durmakta olan α açısı kadar bükülmüş borudan m kütleli suyun $\mathcal{V}$ büyüklüğünde hız ile geçmesi sağlanmaktadır.



Buna göre

a) Borunun düzlem üzerindeki hareketi nasıl olur?

b) α açısının küçültülmesi, borunun hareketinde bir değişiklik meydana getirir mi?

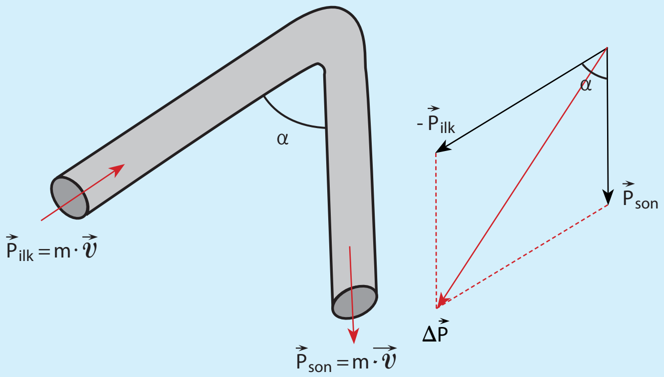
ÇÖZÜM

a) Borudan geçen suyun çizgisel momentumundaki değişim, boruya uygulanan itmeye eşittir. Buna göre

$\vec{I} = \Delta\vec{P}$

$\vec{F} \cdot \Delta t = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$ olur.

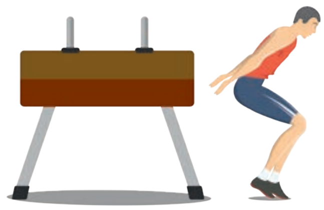
Su, boruya ΔP'ye eşit büyüklükte bir itme uygular. Çizgisel momentumun korunumu nedeniyle $\Delta\vec{P}$ ye ters yönde harekete geçer.



b) Açı küçüldükçe $\Delta\vec{P}$ artacağından yani kuvvet büyüyeceğinden boru daha hızlı hareket eder.

7. BÖLÜM SONU SORULARI

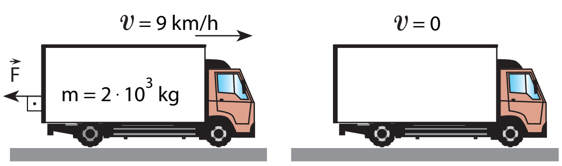
1. Atlama beygirinden atlayan sporcu yere inerken dizlerini büker.



Sporcunun bu atlama şeklini tercih etmesinin nedenini itme kavramıyla ilişkilendirerek açıklayınız.

ÇÖZÜM

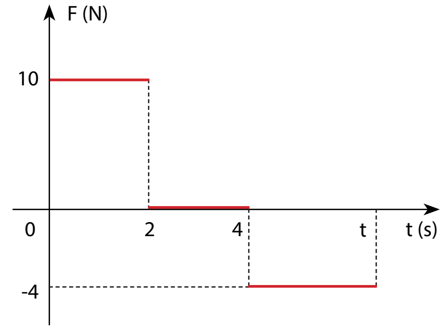
2. Şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği düz yolda 9 km/h büyüklüğünde hızla giderken bozulan $2 \cdot 10^3$ kg kütleli bir aracı, çekici F büyüklüğünde kuvvet ile 10 s'de durdurmuştur.



Buna göre çekicinin araca uyguladığı sabit kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

ÇÖZÜM

3. Kütlesi 2 kg olan cismin net kuvvet-zaman grafiği verilmiştir. Cisim t = 0 anında 10 m/s büyüklüğünde hızla harekete başlayıp bir süre sonra durmaktadır.



Buna göre cisim kaç saniye sonra durur?

ÇÖZÜM

4. Kütlesi kaykayla birlikte 9m olan bir çocuk, sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde kaykay üzerinde υ büyüklüğünde hız ile giderken elindeki m kütleli futbol topunu yatay olarak fırlatmaktadır.



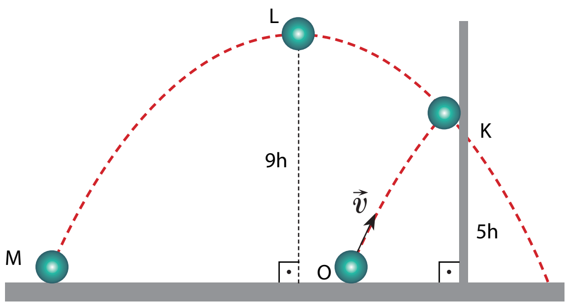
Buna göre çocuk

a) Topu kaykayın hareket yönünde ve yere göre υ büyüklüğünde hızla fırlatırsa kaykayın son hızının büyüklüğü kaç υ olur?

b) Topu kaykayın hareket yönünde ve kaykaya göre υ büyüklüğünde hızla fırlatırsa kaykayın son hızının büyüklüğü kaç υ olur?

ÇÖZÜM

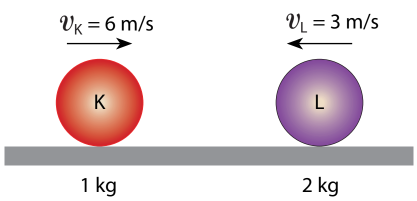
5. O noktasından şekildeki gibi atılan bir cisim, yere dik olan bir duvarın K noktasına esnek olarak çarpmakta ve bu noktadan sıçrayıp L noktasından geçerek yerdeki M noktasına düşmektedir. Sürtünmelerin önemsenmediği ortamda cisme OK aralığında yapılan itmenin büyüklüğü I_{OK}, KM aralığındaki de I_{KM}'dir.



Buna göre $\frac{I_{OK}}{I_{KM}}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

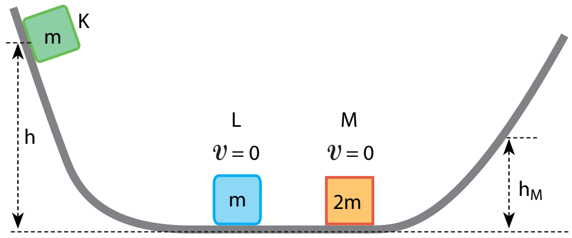
6. Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlem üzerindeki 1 kg kütleli K ve 2 kg kütleli L cisimleri şekildeki gibi sırasıyla 6 m/s ve 3 m/s büyüklüğünde hızlarla tam esnek çarpışma yapmaktadır.



Buna göre cisimlerin çarpışmadan sonraki hızları kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

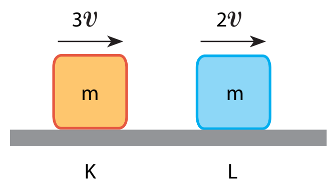
7. m kütleli K, L ve 2m kütleli M cisimleri şekildeki gibi sürtünmelerin ihmal edildiği düzlem üzerinde durmaktadır. K cismi serbest bırakıldıktan sonra cisimler arasındaki tüm çarpışmalar esnek olmaktadır.



Buna göre M cisminin çıkacağı yükseklik h_M kaç h olur?

ÇÖZÜM

8. Şekildeki sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde m kütleli K cismi $3v$ ve m kütleli L cismi ise $2v$ büyüklüğündeki hızla hareket ederken esnek olmayan çarpışma yapmış ve birlikte hareket etmeye başlamıştır.



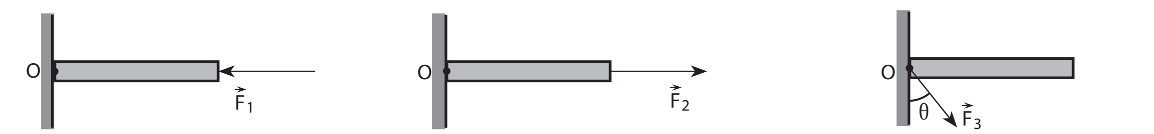
Buna göre K ve L cisminin çarpışmadan sonraki hızının yönü nedir ve büyüklüğü kaç v olur?

ÇÖZÜM

1.8. TORK

A) TORK KAVRAMI

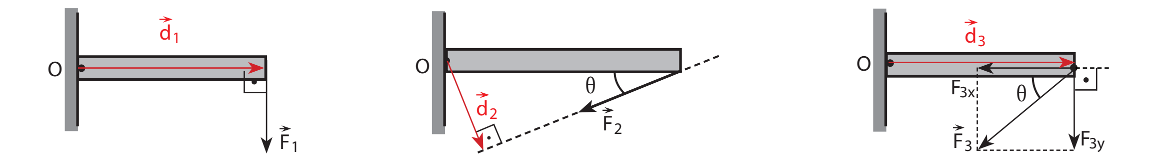
Musluğu açmak, pencere ve kapıları açmak, anahtarla kilidi açmak, kitapların sayfalarını çevirmek gibi pek çok hareket aslında cisimleri döndürme hareketidir. Bu döndürme hareketleri yapılırken cisimlere kuvvet uygulanır. Kuvvetin; cisimlerin şeklini, doğrultusunu, hareket yönünü değiştirme ve öteleme etkisi olduğu gibi döndürme etkisi de vardır. Cismi döndürebilmek için cismin bir nokta ya da bir eksen etrafında serbestçe hareket etmesini sağlamak gerekir. Örneğin bir kapının menteşelerinin bulunduğu sabit eksen, dönme eksenidir. Kapı, bu eksen etrafında döner. Bir kuvvetin cismi bir eksen ya da nokta etrafında döndürme etkisine **tork** denir. Tork, vektörel bir büyüklük olup $\vec{\tau}$ sembolü ile gösterilir. SI'da birimi **N·m**'dir.



a) Dönme noktası doğrultusunda iten kuvvet
b) Dönme noktası doğrultusunda çeken kuvvet
c) Dönme noktasına uygulanan kuvvet

Şekil 1.64 : Doğrultusu dönme ekseninden geçen kuvvetler

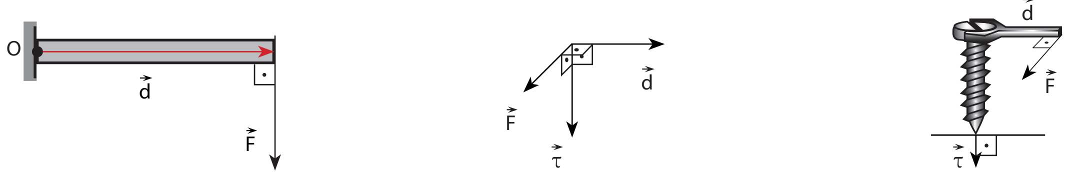
Bir kapıyı menteşeleri doğrultusunda uygulanacak kuvvetle açmak mümkün değildir. Kuvvet uygulanmasına rağmen kuvvetin kapı üzerinde döndürücü etkisi oluşmaz (Şekil 1.64).



a) Çubuğa dik uygulanan kuvvetin konum vektörü
b) Çubukla açı yaparak uygulanan kuvvetin konum vektörü
c) Çubukla açı yaparak uygulanan kuvvetin bileşeninin konum vektörü

Şekil 1.65: Konum vektörünün gösterimi

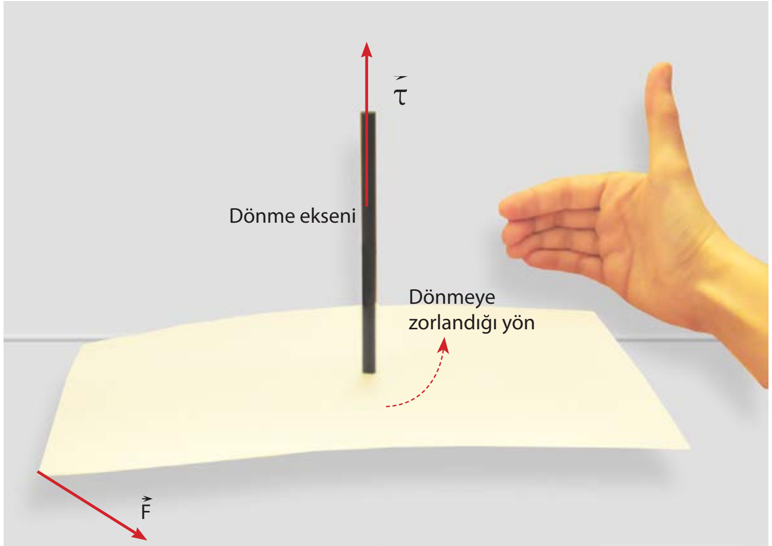
Başlangıç noktası dönme ekseni olan ve uygulanan kuvvetin doğrultusuna dik olarak yönelen vektöre **konum vektörü** denir ve $\vec{d}$ sembolü ile gösterilir. Kuvvetin, bir cismi dönmeye zorlaması için kuvvetin konum vektörüne dik olması (Şekil 1.65.a,b) ya da konum vektörüne dik olan bir bileşene sahip olması gerekir. Dik olmayan $\vec{F}_3$ kuvveti bileşenlerine ayrıldığında yatay F_{3x} bileşeninin doğrultusu dönme ekseninden geçtiği için döndürücü etkisi olmaz. Fakat dik olan F_{3y} bileşeninin dönmeye zorlayıcı etkisi vardır (Şekil 1.65.c).



a) Konum vektörü
b) Tork, kuvvet ve konum vektörü
c) Vida ve anahtar

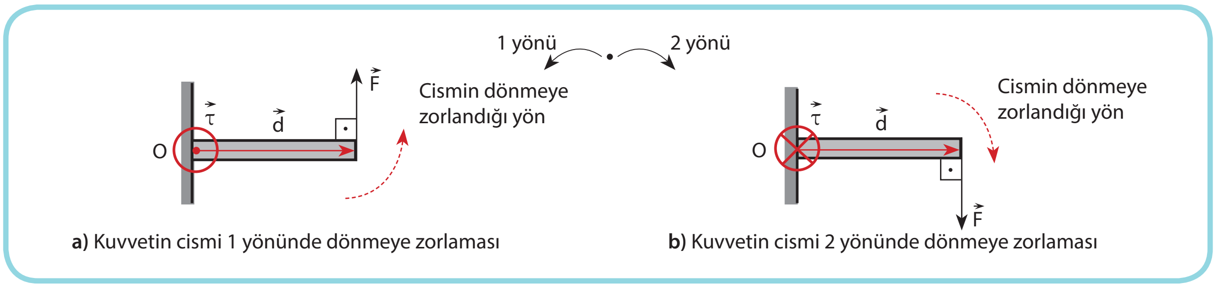
Şekil 1.66: Tork, kuvvet ve konum vektörlerinin yönlerinin gösterimi

Cisimlerin dönmesi için konum vektörü ile kuvvet vektörü arasında açı olmalıdır (Şekil 1.66.a). Vektörel bir büyüklük olan tork ($\vec{\tau}$) ise cismin dönme ekseni üzerindedir ve konum ile kuvvet vektörlerinin oluşturduğu düzleme diktir. Anahtar ile kuvvet uygulanarak sıkılan bir sağ vidanın ilerleme yönü, torkun yönü olarak kabul edilebilir (Şekil 1.66.b,c).



Görsel 1.19: Dönen cisimlerde sağ el kuralı ile torkun yönünün bulunuşu

Orta noktasından geçen eksen etrafında dönebilen cisme kuvvet uygulandığında cisim bu kuvvetin etkisi ile dönmeye zorlanır. Kuvvet etkisiyle dönmeye zorlanan cismin torkunun yönü, **sağ el kuralına** göre bulunur. Bu kurala göre sağ elin avuç içi dönme eksenine bakacak ve dört parmak kuvvetin dönmeye zorladığı yönü gösterecek şekilde tutularak başparmak dört parmağa dik olarak açılır. Açılan başparmak torkun yönünü gösterir (Görsel 1.19).



Şekil 1.67: Dönen cisimlerde torkun yönü

O noktasından geçen eksen etrafında dönebilen d uzunluğundaki ve çubuk şeklindeki cisme F büyüklüğünde kuvvet Şekil 1.67.a'daki gibi uygulandığında çubuk 1 yönünde dönmeye zorlanır. Sağ el kuralı uygulandığında tork, sayfa düzlemine dik ve dışa doğru (⊙) olur. Kuvvet çubuğa Şekil 1.67.b'deki gibi uygulandığında çubuk 2 yönünde dönmeye zorlanır. Sağ el kuralı uygulandığında tork, sayfa düzlemine dik ve içe doğru olur (⊗).



a) Bijon anahtarı



b) Vida ve anahtar

Görsel 1.20: Kuvvetin döndürme etkisinden faydalanarak çalışan araçlar

Tork, günlük hayattaki pek çok probleme çözüm üretmek için kullanılmaktadır. Örneğin araba tekerlekleri değiştirilirken (Görsel 1.20.a) ve vidalama yapılırken (Görsel 1.20.b) kuvvetin döndürme etkisinden faydalanılır.

? Günlük hayatta tork etkisi kullanılarak çalışan araçlara örnekler veriniz. Tork etkisinin bu araçlarda nasıl kullanıldığını açıklayınız.

B) TORKUN BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER

Kapı kolu, neden kapının menteşeye olabildiğince uzak kenarına monte edilir?

Etkinlik 1.2: Torkun Bağlı Olduğu Değişkenler

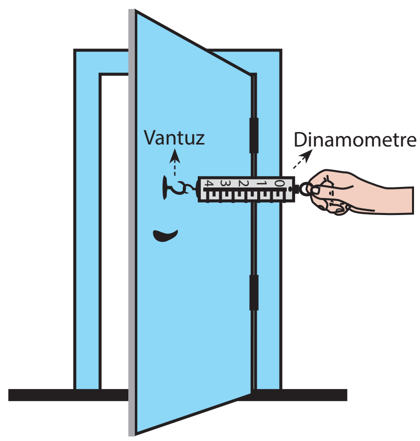
Etkinliğin Amacı

Torkun bağlı olduğu değişkenleri incelemek

Araç Gereç

Kapı
Vantuz
Dinamometre

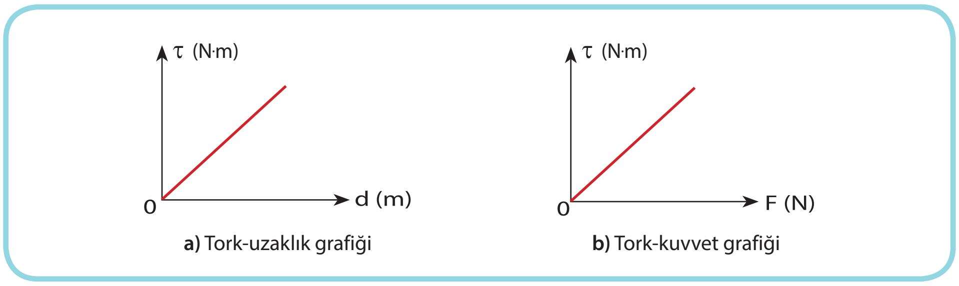
Etkinliğin Yapılışı



1. Sınıfınızın kapısını açınız.
2. Vantuzu kapının ortasına yapıştırınız.
3. Vantuzu yapıştırdığınız yerin kapının menteşelerine olan dik uzaklığını ölçünüz.
4. Dinamometrenin ucundaki çengeli vantuza takınız.
5. Dinamometreyi çekerek kapıyı hareket ettirmeye çalışınız.
6. Kapıyı ilk harekete geçirdiğiniz anda dinamometrede okuduğunuz değeri kaydediniz.
7. Vantuzu bulunduğu yerden çıkarıp ilk konumu ile aynı hizada olacak şekilde kapının menteşelerine en uzak noktasına yapıştırınız.
8. Vantuzu yapıştırdığınız yerin kapının menteşelerine olan dik uzaklığını ölçünüz.
9. Dinamometrenin ucundaki çengeli vantuza takınız.
10. Dinamometreyi çekerek kapıyı hareket ettirmeye çalışınız.
11. Kapıyı ilk harekete geçirdiğiniz anda dinamometrede okuduğunuz değeri kaydediniz.

Değerlendirme

1. Etkinliğin 6 ve 11. adımlarında bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.
2. Vantuzun kapının menteşelerine olan dik uzaklıkları ile kapıya uyguladığınız kuvvetler arasındaki ilişkiyi açıklayınız.



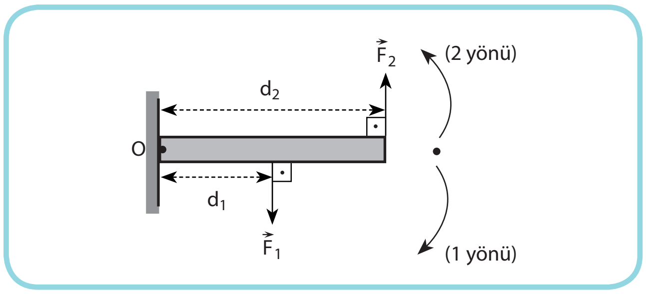
Grafik 1.24: Torkun uzaklık ve kuvvete bağlı değişim grafikleri

Torkun büyüklüğü, uygulanan dik kuvvetin şiddetine ve dönme noktasına olan dik uzaklığına bağlıdır. Kapı koluna uygulanan kuvvetin büyüklüğü arttıkça bu kuvvetin oluşturacağı torkun büyüklüğü de artar. Kapı kollarının kapının menteşelerine olabildiğince uzak kenarına monte edilmesinin sebebi, kapıyı açmak için uygulanması gereken kuvveti azaltmaktır. Kapıya uygulanan kuvvetin uygulanma noktasının, kapının dönme eksenine dik uzaklığı arttıkça uygulanan kuvvetin büyüklüğü sabit kalmak koşuluyla kuvvetin döndürme etkisi yani torkun büyüklüğü artar. Buna göre tork, dönme eksenine olan dik uzaklıkla ve uygulanan kuvvetle doğru orantılıdır. Diğer değişkenler sabit olmak koşuluyla tork-uzaklık ve tork-kuvvet değişim grafikleri Grafik 1.24'teki gibi olur.

Torkun matematiksel modeli

$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}$ olur. Birimi **newton·metre**dir (**N·m**).

$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}$ matematiksel modelindeki (x) işareti vektörel çarpım ifadesidir. Vektörel çarpımdan elde edilen sonuç çarpılan vektörlere dik başka bir vektör oluşturur. Torkun büyüklüğü bulunurken kuvvet ve konum vektörü birbirine dik ise ifade $\tau = F \cdot d$ şeklinde kullanılır.



Şekil 1.68: Birden fazla kuvvet etkisindeki çubuk

Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde O noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında rahatça dönebilen, ağırlığı ihmal edilen çubuğa Şekil 1.68'deki gibi d_1 uzaklığından $\vec{F}_1$ ve d_2 uzaklığından $\vec{F}_2$ kuvvetleri uygulanmıştır. $\vec{F}_1$ kuvveti çubuğu 1 yönünde dönmeye zorlarken $\vec{F}_2$ kuvveti 2 yönünde dönmeye zorlar.

F_1 kuvvetinin torkunun büyüklüğü $\tau_1 = F_1 \cdot d_1$ olur.

F_2 kuvvetinin torkunun büyüklüğü $\tau_2 = F_2 \cdot d_2$ olur.

Kuvvetlerin ayrı ayrı torkları bulunduktan sonra bunların vektörel bileşkesi alınarak $\vec{\tau}_{toplam}$ bulunur.

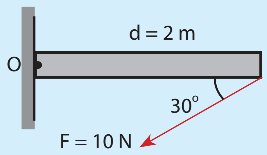
$\tau_1 = \tau_2$ ise çubuk dönmez.

$\tau_1 > \tau_2$ ise çubuk 1 yönünde dönmeye zorlanır.

$\tau_1 < \tau_2$ ise çubuk 2 yönünde dönmeye zorlanır.

Dönmeye zorlanan yön bulunduktan sonra sağ el kuralı uygulanarak torkun yönü bulunur.

110. ÖRNEK



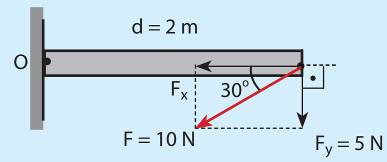
O noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında rahatça dönebilen 2 m uzunluğundaki ağırlığı ihmal edilen çubuğun ucuna şekildeki gibi 10 N büyüklüğünde bir kuvvet uygulanmaktadır.

Buna göre $\vec{F}$ kuvvetinin O noktasına göre torkunun büyüklüğü kaç N·m olur? (sin 30° = $\frac{1}{2}$ ve cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

I. Yol $\vec{F}$ kuvveti bileşenlerine ayrıldığında F_x bileşeninin doğrultusu dönme ekseninden geçtiği için çubuğu dönmeye zorlamaz. Dik olan F_y bileşeni ise çubuğu dönmeye zorlar.

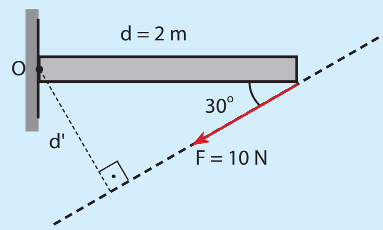
$F_y = F \cdot \sin 30° = 10 \cdot \frac{1}{2} = 5$ N



Torkun büyüklüğü

$\tau = F_y \cdot d = 5 \cdot 2 = 10$ N·m olur.

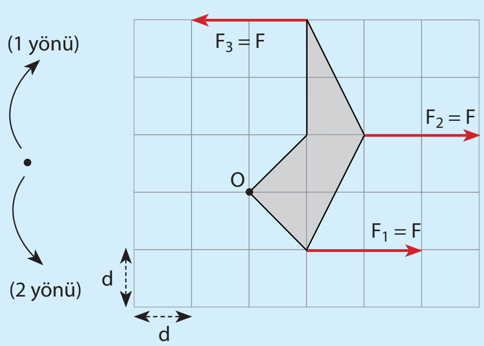
II. Yol $\vec{F}$ kuvvetinin doğrultusunun O noktasına olan dik uzaklığı d' bulunur.



$d' = d \cdot \sin 30° = 2 \cdot \frac{1}{2} = 1$ m

$\tau = F \cdot d' = 10 \cdot 1 = 10$ N·m olur.

111. ÖRNEK



Bir kenarının uzunluğu d olan eşit kare bölmelere ayrılmış düzlem üzerinde bulunan ağırlığı önemsenmeyen levhaya aynı büyüklükteki $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulanmaktadır.

Levha, sürtünmelerin ihmal edildiği O noktası etrafında serbestçe dönebildiğine göre toplam torkun büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM

Levhayı $\vec{F}_2$ kuvveti 1 yönünde dönmeye zorlar. Torkun büyüklüğü

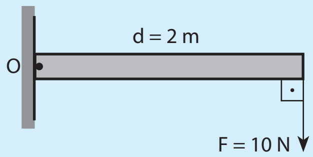
$\tau_1 = F \cdot d$ olur.

Levhayı $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri 2 yönünde dönmeye zorlar. Torkun büyüklüğü

$\tau_2 = F \cdot d + F \cdot 3d = 4F \cdot d$ olur.

Toplam torkun büyüklüğü $\tau_{Toplam} = 4F \cdot d - F \cdot d = 3F \cdot d$ olur. Levhayı 2 yönünde döndürür.

112. ÖRNEK



O noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında rahatça dönebilen 2 m uzunluğundaki ağırlığı ihmal edilen çubuğun ucuna şekildeki gibi 10 N büyüklüğünde bir kuvvet uygulanmaktadır.

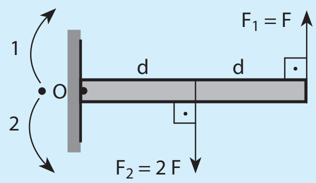
Buna göre $\vec{F}$ kuvvetinin O noktasına göre torkunun büyüklüğü ve yönü nedir?

ÇÖZÜM

$\tau = F \cdot d$ olduğundan torkun büyüklüğü

$\tau = F \cdot d \Longrightarrow \tau = 10 \cdot 2 \Longrightarrow \tau = 20$ N·m olup yönü sayfa düzleminden içeri $(\otimes)$ doğrudur.

113. ÖRNEK

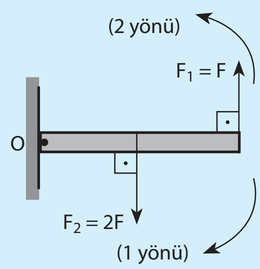


Ağırlığı ihmal edilen 2d uzunluğundaki çubuk, O noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında dönebilmektedir. Çubuğa aynı düzlemli F ve 2F büyüklüğünde kuvvetler şekildeki gibi uygulanmaktadır.

Buna göre bileşke torkun yönü nedir?

ÇÖZÜM

O noktasından sabitlenmiş çubuk, dönme noktasına 2d uzaklıktan uygulanan $\vec{F}_1$ kuvveti tarafından 2 yönünde; d uzaklığındaki $\vec{F}_2$ kuvveti tarafından ise 1 yönünde dönmeye zorlanır. Kuvvetlerin ayrı ayrı torkları bulunur, sonra bunların vektörel bileşkesi alınır. Buna göre kuvvetlerin torklarının büyüklükleri

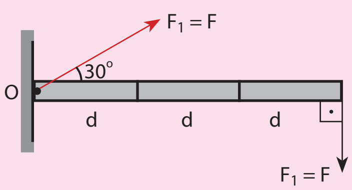


$\tau_1 = F_1 \cdot d_1 = F \cdot 2d = 2F \cdot d$ ($\odot$ yönünde)

$\tau_2 = F_2 \cdot d_2 = 2F \cdot d = 2F \cdot d$ ($\otimes$ yönünde) bulunur.

Kuvvetlerin torkları eşit büyüklükte ve zıt yönde olduğundan döndürücü etkileri birbirini yok eder. Bu durumda şekildeki çubuk dönmez ve dengede kalır.

83. ALIŞTIRMA



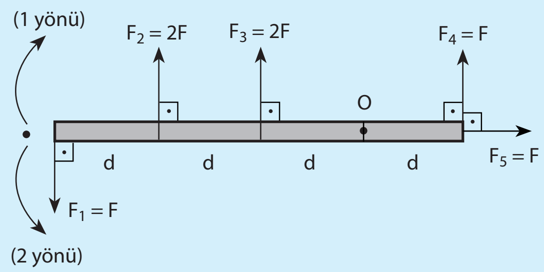
Sürtünme ve ağırlığın ihmal edildiği sistemde 3d uzunluğundaki çubuk, O noktasından geçen eksen etrafında dönebilmektedir.

Aynı düzlemdeki F büyüklüğünde kuvvetler çubuğa şekildeki gibi uygulandığında O noktasına göre kuvvetlerin bileşke torkunun büyüklüğü ve yönü nedir? (sin 30° = $\frac{1}{2}$ ve cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

114. ÖRNEK

Ağırlığı ihmal edilen eşit bölmeli 4d uzunluğundaki çubuk O noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında serbestçe dönebilmektedir.



Aynı düzlemdeki kuvvetler çubuğa şekildeki gibi uygulandığında

a) Çubuk hangi yönde döner?

b) Toplam torkun yönü nedir?

ÇÖZÜM

a) Öncelikle çubuğa uygulanan bütün kuvvetlerin dönme eksenine göre torklarının büyüklükleri tek tek bulunur. $\vec{F}_5$ kuvvetinin doğrultusu dönme ekseninden geçtiği için kuvvetin dönme eksenine olan dik uzaklığı sıfırdır. Bu nedenle döndürücü etkisi yoktur.

$\tau_1 = F_1 \cdot d_1 = F \cdot 3d = 3F \cdot d$ (Çubuğu 2 yönünde dönmeye zorlar.)

$\tau_2 = F_2 \cdot d_2 = 2F \cdot 2d = 4F \cdot d$ (Çubuğu 1 yönünde dönmeye zorlar.)

$\tau_3 = F_3 \cdot d_3 = 2F \cdot d = 2F \cdot d$ (Çubuğu 1 yönünde dönmeye zorlar.)

$\tau_4 = F_4 \cdot d_4 = F \cdot d = F \cdot d$ (Çubuğu 2 yönünde dönmeye zorlar.)

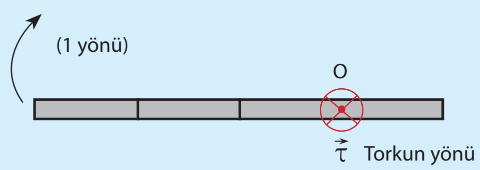
Cisme etki eden kuvvetler aynı düzlemde ise bileşke torkun büyüklüğünü bulmak için aynı yönde dönmeye zorlayan kuvvetlerin torkları kendi aralarında cebirsel olarak toplanır. Daha sonra yönü zıt olanlar birbirinden çıkarılır. Döndürme etkisi büyük olan yön, çubuğun dönmeye zorladığı yönü belirler.

$\tau_1 + \tau_4 = 3F \cdot d + F \cdot d = 4F \cdot d$ (Çubuğu 2 yönünde dönmeye zorlar.)

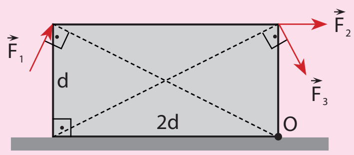
$\tau_2 + \tau_3 = 4F \cdot d + 2F \cdot d = 6F \cdot d$ (Çubuğu 1 yönünde dönmeye zorlar.)

$\tau_{toplam} = 6F \cdot d - 4F \cdot d = 2F \cdot d$ (Çubuğu 1 yönünde döner.)

b) Çubuğun dönmeye zorlandığı yön ile torkun yönü birbirine karıştırılmamalıdır. Torkun yönü çubuğun dönme ekseni üzerindedir ve sağ el kuralı uygulanarak bulunur. Çubuk, dönmeye zorlandığı yön olan 1 yönünde sağ el ile sarılırsa başparmak sayfa düzlemine dik ve içeri doğrudur ($\otimes$), şekildeki gibi gösterilir.



84. ALIŞTIRMA

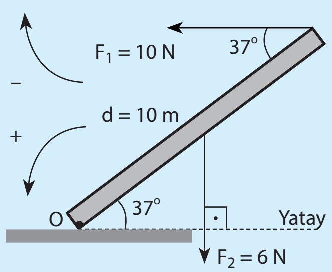


O noktası etrafında dönebilen, kenar uzunlukları d ve 2d olan dikdörtgen levhaya aynı düzlem üzerinde $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekildeki gibi ayrı ayrı uygulanmaktadır.

Buna göre levhayı döndürebilecek en küçük kuvvet hangisidir?

ÇÖZÜM

115. ÖRNEK



Uzunluğu 10 m olan ve O noktası etrafında serbestçe dönebilen ağırlığı ihmal edilen çubuğa aynı düzlemli yatay 10 N büyüklüğünde ve çubuğun orta noktasından 6 N büyüklüğünde kuvvetler şekildeki gibi uygulanmaktadır.

Buna göre O noktasına göre toplam torkun büyüklüğü nedir?
(sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

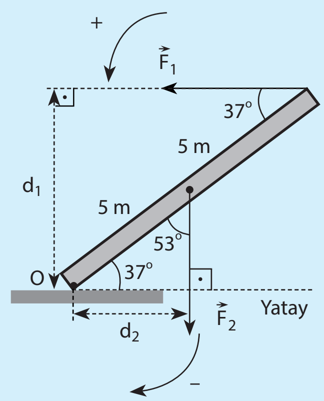
$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri çubuğu ters yönlerde dönmeye zorlar. Kuvvetlerin dönme noktasına göre torklarının büyüklükleri sırasıyla

$\tau_1 = F_1 \cdot d_1 = F_1 \cdot d \cdot \sin 37^\circ = 10 \cdot 10 \cdot 0,6 = 60$ N·m

$\tau_2 = F_2 \cdot d_2 = F_2 \cdot \dfrac{d}{2} \cdot \sin 53^\circ = 6 \cdot 5 \cdot 0,8 = 24$ N·m

olduğuna göre toplam torkun büyüklüğü zıt yönlü olduklarından

$\tau_{toplam} = 60 - 24 = 36$ N·m olur.



85. ALIŞTIRMA

Otobüs direksiyonlarının otomobil direksiyonlarından büyük olmasının nedeni nedir?

ÇÖZÜM

86. ALIŞTIRMA

Araç tekerleklerinin somunlarını sökmek için bijon anahtarı kullanılır.

Otobüs, kamyon gibi taşıtlarda büyük boy; otomobil gibi araçlarda küçük boy bijon anahtarı kullanılmasının sebebi nedir?



ÇÖZÜM

87. ALIŞTIRMA

İnşaatlarda demir kesmek için kullanılan makasın kolları neden çok uzundur?



ÇÖZÜM

PROJE

KAZANIM : Tork ile ilgili günlük hayattan problem durumları bulup bunlar için çözüm yolları üretmek

AMAÇ : Torkla ilgili çözüm önerileri geliştirmek

BECERİLER : Araştırma yapma, problem çözme, yaratıcı düşünme, iş birliği, sunum

SÜRE : 15 gün

YÖNERGE : Günlük hayatta yapılan birçok uygulama tork özelliği taşır. Bu uygulama sayesinde pek çok faaliyeti kolayca gerçekleştirebiliriz. Bu çalışmada sizlerden günlük hayattan tork ile ilgili problem durumları tespit edip bunlar için çözüm yolları geliştirmeniz istenmektedir.

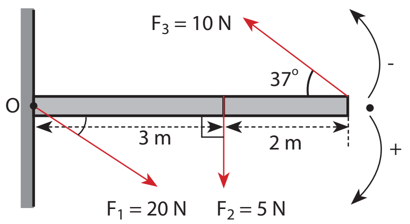
Projenizi hazırlarken aşağıda belirtilen aşamalara dikkat ediniz:

1. Bir çalışma planı hazırlayınız.
2. Farklı kaynaklardan, torkla ilgili araştırma yapınız ve etrafınızı gözlemleyiniz.
3. Tüm çalışmalarınızı içeren bir rapor hazırlayarak sınıf arkadaşlarınıza sununuz.

DEĞERLENDİRME : Ders öğretmeni tarafından geliştirilecek olan dereceli puanlama anahtarı ile değerlendirilecektir.

8. BÖLÜM SONU SORULARI

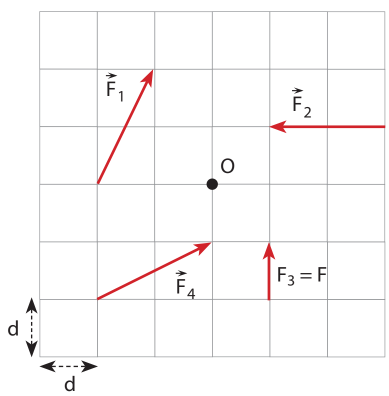
1. Sürtünmenin ihmal edildiği O noktası etrafında dönebilen, ağırlığı ihmal edilen çubuğa $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekildeki gibi uygulanmaktadır.



Kuvvetlerin büyüklükleri sırasıyla 20 N, 5 N ve 10 N olduğuna göre çubuğa etki eden toplam tork kaç N·m olur? (sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

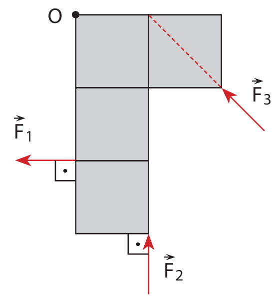
2. Sürtünmelerin ihmal edildiği O noktası etrafında dönebilen ağırlığı ihmal edilen levhaya $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetleri şekildeki gibi uygulanmaktadır. $\vec{F}_3$ kuvvetinin büyüklüğü F kadardır.



Kenar uzunlukları d olan eşit kare bölmelere ayrılmış levha üzerindeki kuvvetlerin O noktasına göre toplam torkları kaç F · d olur?

ÇÖZÜM

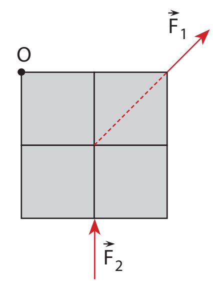
3. Sürtünmelerin ihmal edildiği O noktası etrafında serbestçe dönebilen, eşit kare bölmelere ayrılmış levhaya aynı düzlemli $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekildeki gibi ayrı ayrı uygulanmaktadır. Kuvvetlerin O noktasına göre torklarının büyüklüğü birbirine eşittir.



Buna göre kuvvetleri büyüklüklerine göre sıralayınız.

ÇÖZÜM

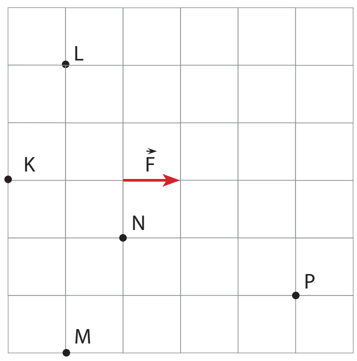
4. Eşit karelere bölünmüş levhaya eşit büyüklükte $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri şekildeki gibi uygulanmaktadır. Kuvvetlerin O noktasına göre torkları sırasıyla $\vec{\tau}_1$ ve $\vec{\tau}_2$ 'dir.



Buna göre torkların büyüklükleri $\frac{\tau_1}{\tau_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

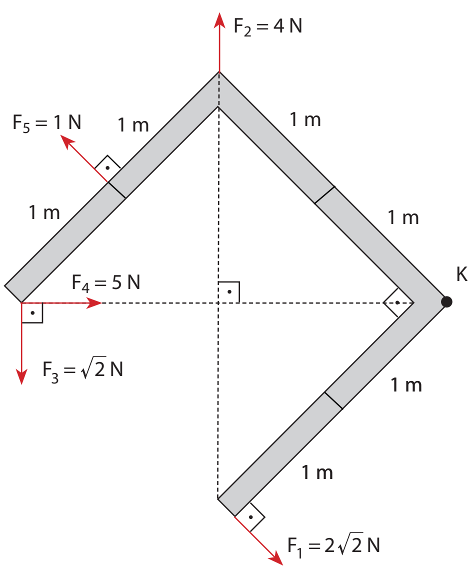
5. Eşit karelere bölünmüş bir düzlemde F büyüklüğündeki kuvvet verilmiştir.



$\vec{F}$ kuvvetinin K, L, M, N ve P noktalarına göre torklarının büyüklük sıralaması nedir?

ÇÖZÜM

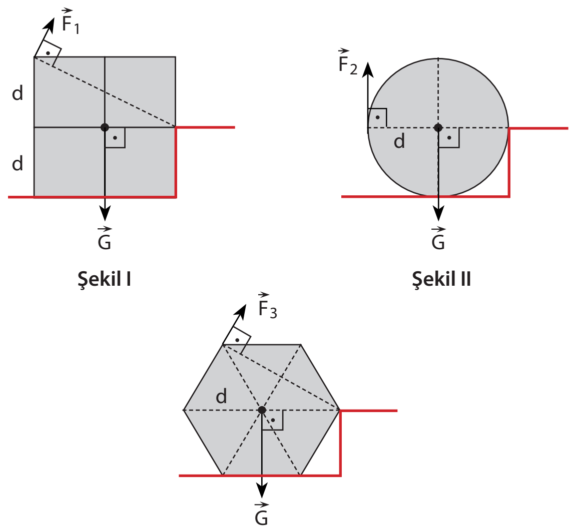
6. Ağırlığı ihmal edilen düzgün çubuk, şekildeki gibi bükülerek K noktasından menteşelenmiştir. Çubuğa etki eden $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ ve $\vec{F}_5$ kuvvetleri sırasıyla $2\sqrt{2}$ N, 4 N, $\sqrt{2}$ N, 5 N ve 1 N'dır.



Sistem sürtünmesiz olduğuna göre K noktasına etki eden toplam torkun büyüklüğü kaç N·m olur?

ÇÖZÜM

7. Ağırlıkları $\vec{G}$ olan kare, daire ve düzgün altıgen şeklindeki cisimler türdeştir. Cisimlere sırasıyla Şekil I'deki gibi $\vec{F}_1$, Şekil II'deki gibi $\vec{F}_2$ ve Şekil III'teki gibi $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulanmaktadır. Cisimler bu kuvvetlerin etkisinde basamaktan ancak çıkabilmektedir.



Şekil I

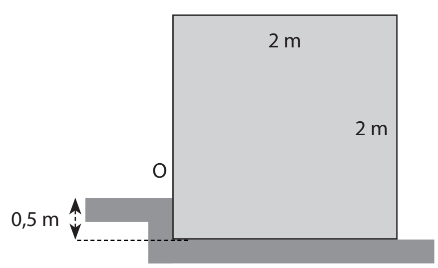
Şekil II

Şekil III

Buna göre cisimlere uygulanan kuvvetlerin büyüklük sıralaması nedir?

ÇÖZÜM

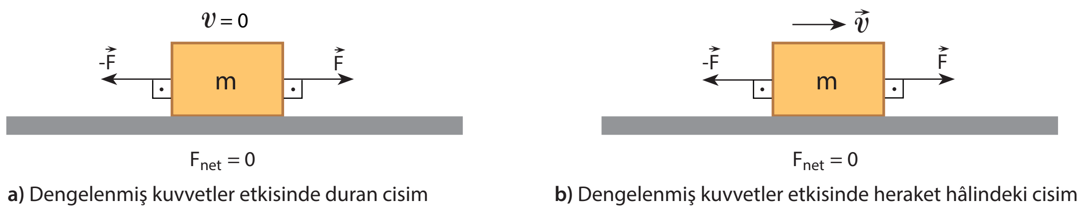
8. Bir kenarının uzunluğu 2 m olan küp şeklindeki cismin ağırlığı 60 N'dır. O noktasında 0,5 m yüksekliğinde basamak bulunmaktadır.



Buna göre cismi basamaktan çıkarabilecek en küçük kuvvet kaç N olur?

ÇÖZÜM

1.9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI



Şekil 1.69: Dengelenmiş kuvvetler etkisindeki cisim

Bir cisme etkiyen net kuvvet sıfır ise o cismin dengelenmiş kuvvetlerin etkisinde olduğu ifade edilir. Bu durumda, cisim durmaktaysa durmaya; bir hızı varsa o hızla hareket etmeye devam eder. Her iki durumda da cisim dengededir. Bir araba direksiyonu iki yanından karşılıklı tutularak bir el ile aşağıya, diğer el ile yukarıya doğru eşit büyüklükte kuvvetlerle aynı anda çekilirse direksiyona uygulanan kuvvetlerin bileşkesi sıfır olur. Direksiyona etkiyen net kuvvet sıfır olmasına rağmen direksiyon yine de dönmeye başlar. Bu durum, sadece net kuvvetin sıfır olmasının denge için yeterli koşul olmadığını gösterir (Şekil 1.69).

A) DENGE

Tek tekerlekli bisiklet üzerinde duran bir kişiye etkiyen net kuvvetin sıfır olması, kişinin dengede kalmasını sağlayabilir mi?



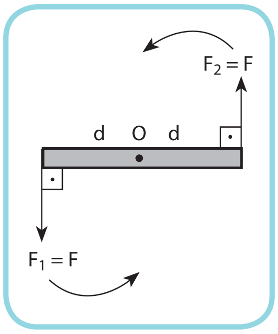
Görsel 1.21: Tek tekerlekli bisiklet ve denge

Bir cisme etkiyen net kuvvetin sıfır olması cismin dengede olması için yeterli değildir. Tek tekerlekli bir bisiklet üzerindeyken olduğu yerde durabilen bir bisikletli dengededir. Bu durumdayken bisikletliye etkiyen net kuvvet sıfırdır. Tekerleğin dönmesi durumunda bisikletin dengesi bozulur. Bu nedenle bisikletli, pedala uyguladığı ileri geri kuvvetlerle tekerleğin dönmesini engellemeye çalışır. Bisikletin dengede kalabilmesi için dönme hareketinin de engellenmesi gerekir (Görsel 1.21). Bir cismin dengede olabilmesi için cisme etkiyen toplam kuvvetin sıfır olmasının yanında toplam torkun da sıfır olması gereklidir.

Bu bölümde sadece duran cisimlerin dengesi incelenecektir. Bir cisim durgun dengede ise

1. $\vec{F}_{toplam} = 0$ ise cisim öteleme hareketi yapmaz.
2. $\vec{\tau}_{toplam} = 0$ ise cisim dönme hareketi yapmaz.

Bu koşulları sağlayan cisim, statik (durgun) dengededir. İnşaat mühendisliği ve mimarlıkta köprü ve binalar, makine mühendisliğinde makineler tasarlanırken statik denge konusuna özellikle dikkat edilir.



Şekil 1.70: Kuvvet çifti

Orta noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında dönebilen bir çubuğa eşit büyüklükte ve zıt yönde kuvvetler şekildeki gibi uygulanırsa cisim dengede kalamaz. Çünkü $\vec{F}_{toplam} = 0$ olmasına rağmen kuvvetlerin O noktasına göre döndürmeye zorlama yönleri aynı olduğu için $\vec{\tau}_{toplam} = 0$ olamaz ve kuvvetler uygulandığı sürece çubuk döner. Bir cisme bu şekilde uygulanan eşit büyüklükte ve zıt yönlü kuvvetlere **kuvvet çifti** denir (Şekil 1.70). Kuvvet çifti cismin dönmesine neden olur. Denge için gerekli koşullara bakıldığında

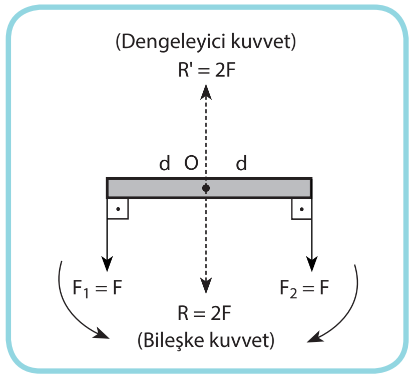
$F_{toplam} = F - F = 0$ (1. koşul sağlanmıştır.)

$\tau_{toplam} = F \cdot d + F \cdot d = 2F \cdot d$ (2. koşul sağlanmamıştır.) olduğundan cisim dengede kalamaz.

Orta noktasından geçen sürtünmelerin ihmal edildiği eksen etrafında dönebilen bir çubuğa eşit büyüklükte ve aynı yönlü kuvvetler uygulanırsa kuvvetlerin O noktasına göre torkları eşit büyüklükte ve zıt yönde olur (Şekil 1.71). Cisme etkiyen $\vec{\tau}_{toplam} = 0$ olduğundan cisim dönmez. Cismin dengede kalabilmesi için $\vec{F}_{toplam} = 0$ koşulunun sağlanması gerekir. Cisme uygulanan aynı yönlü kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğü

$R = F + F = 2F$ olup aşağı yönlüdür.

Cisme etki eden net kuvvetin sıfır olabilmesi için kuvvetlerin bileşkesine eşit büyüklükte ve zıt yönde bir dengeleyici kuvvet olması gerekir. Bu kuvvet denge koşullarının sağlanabilmesi için toplam torkun sıfır olduğu noktaya uygulanmalıdır. Bu nedenle O noktası dengeleyici kuvvetin uygulama noktasıdır.



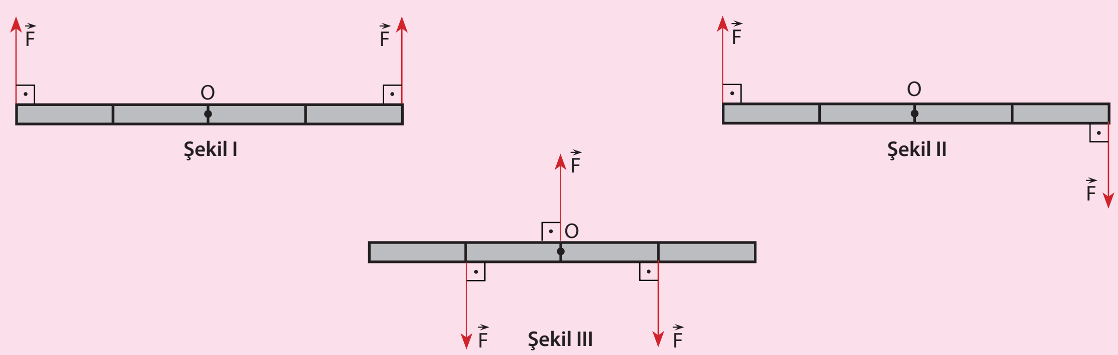
Şekil 1.71: Aynı yönlü kuvvetlerin bileşkesi

$F_{toplam} = F + F - 2F = 0$ (1. koşul sağlanmıştır.)

$\tau_{toplam} = F \cdot d - F \cdot d = 0$ (2. koşul sağlanmıştır.)

88. ALIŞTIRMA

Sürtünmenin ihmal edildiği O noktası etrafında dönebilen eşit bölmeli ve türdeş çubuklara Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki gibi F büyüklüğünde kuvvetler uygulanmaktadır.

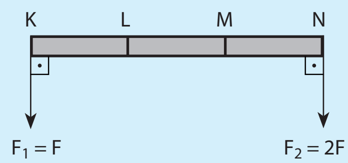


Buna göre hangi çubuklar dengede kalır?

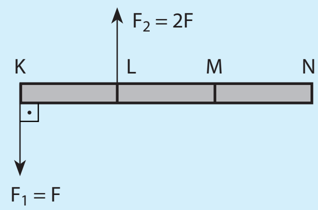
ÇÖZÜM

116. ÖRNEK

Şekil I ve Şekil II'deki gibi eşit bölmeli ve ağırlığı ihmal edilen çubuklara F ve 2F büyüklüğünde kuvvetler uygulanmaktadır.



Şekil I



Şekil II

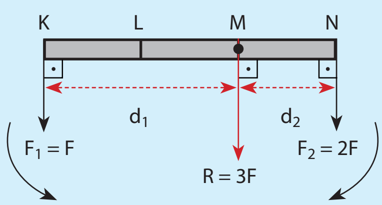
Buna göre

a) Şekil I'de dönme ekseni hangi noktadan geçerse çubuk dengede kalır?

b) Şekil II'de dönme ekseni hangi noktadan geçerse çubuk dengede kalır?

ÇÖZÜM

a) Şekil I'deki kuvvetlerin bileşkesi R = F + 2F = 3F büyüklüğünde ve aşağı yöndedir. Çubuğun dengede kalabilmesi için bileşke kuvvetin uygulama noktasından bileşke kuvvet ile zıt yönde ve eşit büyüklükte bir kuvvet uygulanmalıdır. Bileşke kuvvetin uygulama noktası, kuvvetlerin torklarının eşit büyüklükte ve zıt yönde olduğu noktadır. Çubuğun üzerindeki kuvvetlerin dönme noktasına uzaklığı d_1 ve d_2 olarak ifade edilirse



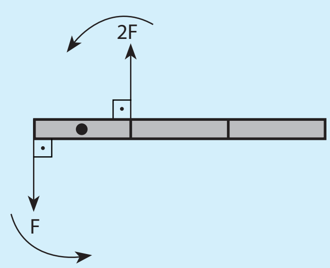
Şekil I

$\tau_1 = \tau_2 \Longrightarrow F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \Longrightarrow F \cdot d_1 = 2F \cdot d_2 \Longrightarrow d_1 = 2d_2$ olur.

Bileşke kuvvet Şekil I'de gösterildiği gibi $\vec{F}_1$ kuvvetine 2 birim, $\vec{F}_2$ kuvvetine 1 birim uzaklıktadır. Buna göre çubuğun dönme ekseninin bulunacağı nokta, M noktası olmalıdır. Paralel ve aynı yönlü iki kuvvetin bileşkesi her zaman kuvvetler arasında ve büyük kuvvete daha yakın bir noktada olur.

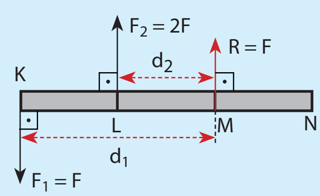
b) Şekil II'deki kuvvetlerin bileşkesi R = 2F - F = F büyüklüğünde ve yukarı yöndedir. Bileşke kuvvet, kuvvetlerin torklarının eşit büyüklükte ve zıt yönde olduğu noktadadır.

$$\tau_1 = \tau_2 \Longrightarrow F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \Longrightarrow F \cdot d_1 = 2F \cdot d_2 \Longrightarrow d_1 = 2d_2 \text{ olur.}$$



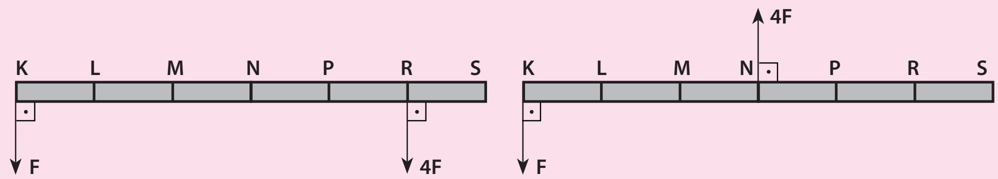
Şekil II

Kuvvetler çubuğa şekildeki gibi uygulandığında tork noktası olarak kuvvetlerin arasındaki bir nokta seçilirse kuvvetlerin ikisi de aynı yönde döndürme etkisi yapar. Bu nedenle tork noktası, paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin uygulama noktalarının arasında olmaz. Buna göre çubuğun dengede kalması için dönme ekseni, kuvvetlerin döndürme eğilimlerinin zıt olduğu bir noktada olmalıdır. Tork eşitliğinin sağlanabilmesi için dönme ekseni küçük kuvvete uzak, büyük kuvvete yakın olmalıdır. $d_1 = 2d_2$ koşulunu sağlayan nokta da M noktasıdır.



89. ALIŞTIRMA

Eşit bölmelere ayrılmış ve ağırlığı ihmal edilen çubuklara F ve 4F büyüklüğünde kuvvetler Şekil I ve Şekil II'deki gibi uygulanmaktadır.

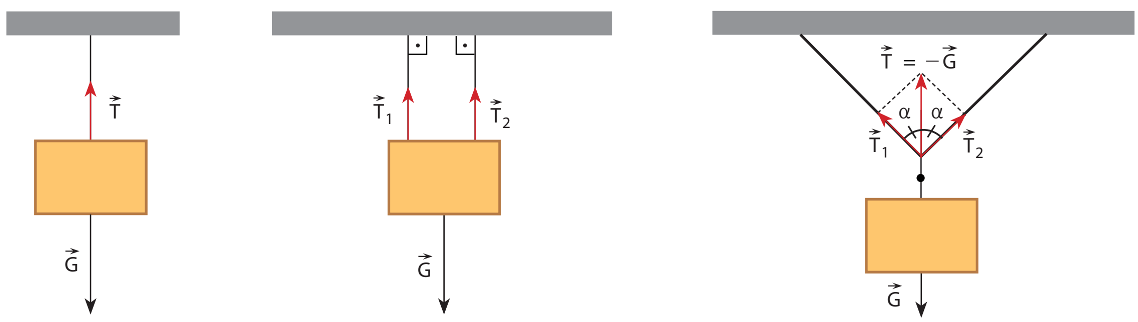


Şekil I

Şekil II

Buna göre Şekil I'de ve Şekil II'de dengeleyici kuvvetler hangi noktada kaç F büyüklüğündedir?

ÇÖZÜM



a) İpe asılan cisim **b)** Birbirine paralel iplere asılı cisim **c)** Birbirine paralel olmayan iplere asılı cisim

Şekil 1.72: Esnemeyen iplerle asılarak dengelenen cisimler

$\vec{G}$ ağırlığındaki bir cisim esnemeyen ip ile asılarak dengelenirse ip üzerinde gerginlik oluşur. Cisim dengede olduğuna göre cisme etkiyen toplam kuvvet sıfırdır. İpte oluşan gerilme kuvveti T olduğuna göre

$\vec{T} = -\vec{G}$ olur (Şekil 1.72.a).

$\vec{G}$ ağırlığındaki bir cisim, birbirine paralel iki ipe asılarak dengelenirse her iki ip de gerilir. Cismin ağırlığının doğrultusu iplerin arasında ve iplere eşit uzaklıkta olursa her iki ip de eşit büyüklükte gerilir ve $\vec{T}_1 = \vec{T}_2$ olur.

Cisim dengede olduğundan $\vec{G} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0 \Longrightarrow \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = -\vec{G}$ olur (Şekil 1.72.b).

İplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $T_1 = \frac{G}{2}$ ve $T_2 = \frac{G}{2}$ olur.

$\vec{G}$ ağırlığındaki cisim birbirine paralel olmayan iplerle asıldığında iplerde oluşan gerilme kuvvetleri ile cismin ağırlığının bileşkesi sıfır olur. İplerin düşey düzlemle yaptığı açılar birbirine eşitse, gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri birbirine eşit olur. Cisim dengede olduğu için

$\vec{G} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0 \Longrightarrow \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = -\vec{G}$ olur (Şekil 1.72.c).

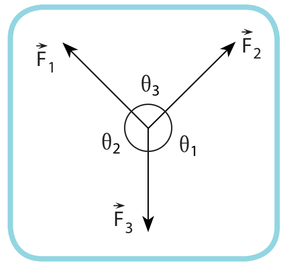
Cismin ağırlığının doğrultusu iplerle eşit açı yapmazsa ip gerginlikleri birbirinden farklı olur. İplerde oluşan gerilme kuvvetleri vektörler konusunda öğrenilen bileşke alma yöntemleri ile bulunabilir.

Lami Teoremi

Şekil 1.73'teki gibi bir noktaya etkiyen dengelenmiş ve uzantıları kesişen üç kuvvet için Lami Teoremi adı verilen

$\frac{F_1}{\sin\theta_1} = \frac{F_2}{\sin\theta_2} = \frac{F_3}{\sin\theta_3}$ matematiksel ifadesi kullanılabilir.

Bu bağıntıya göre kuvvetler arasındaki açılar arasında $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ ilişkisi varsa kuvvetlerin büyüklükleri arasında da trigonometrik olarak açı arttıkça açının sinüs değeri küçüldüğü için $F_3 > F_2 > F_1$ ilişkisi vardır. Buradan küçük açı karşında büyük kuvvetin olduğu sonucuna varılır.

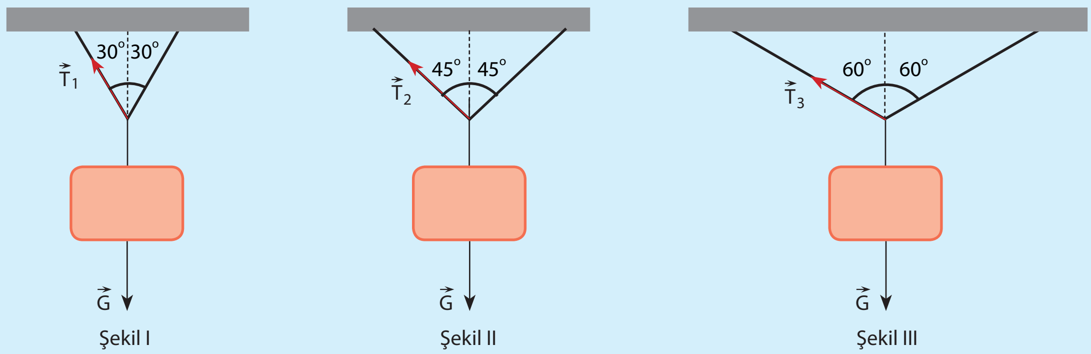


Şekil 1.73: Bir noktada kesişen kuvvetler

Kuvvetler dengede olduğuna göre herhangi iki kuvvetin bileşkesi üçüncü kuvvetin dengeleyicisidir.

117. ÖRNEK

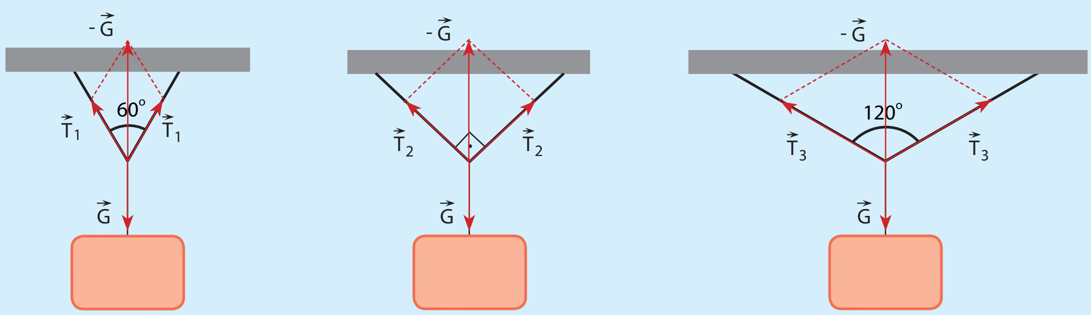
$\vec{G}$ ağırlıklı cisimler; Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki gibi esnemeyen iplerle bağlanarak dengelenmiştir.



Buna göre iplerde oluşan $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ ve $\vec{T}_3$ gerilme kuvvetleri arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

($\sin 30° = \frac{1}{2}$, $\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ve $\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM



Dengede olan sistemlerde $\vec{G}$ ağırlığının doğrultusu iplerin ortasından geçtiği için her üç sistemde de ip gerilmeleri kendi aralarında birbirine eşit olur. Aralarında 60°, 90° ve 120° açı bulunan eşit kuvvetlerin bileşkesi alınırsa

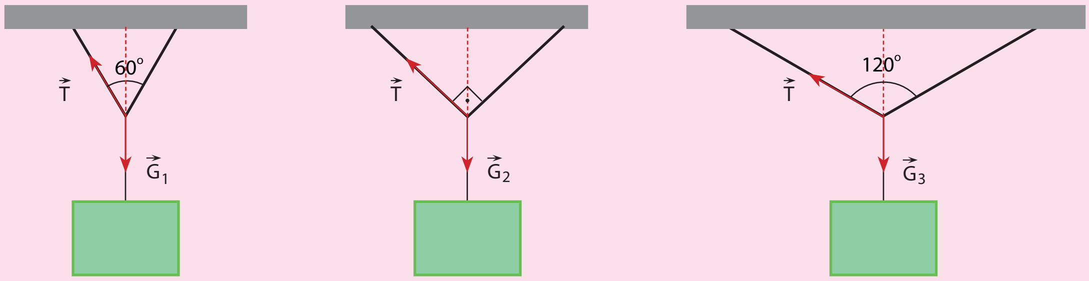
$\sqrt{3}\,T_1 = G \qquad \sqrt{2}\,T_2 = G \qquad T_3 = G \qquad \Longrightarrow \qquad T_3 > T_2 > T_1$ olur.



Aynı ağırlığı taşıyan ipler arasındaki açı değeri arttırılırsa iplerdeki gerilme kuvveti de artar.

90. ALIŞTIRMA

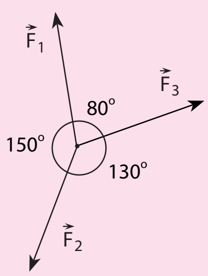
Ağırlıklarının büyüklükleri $\vec{G}_1$, $\vec{G}_2$ ve $\vec{G}_3$ olan cisimler esnemeyen iplerle asılarak dengelendiğinde iplerde oluşan gerilmelerin büyüklüğü eşit ve T olmaktadır.



Buna göre cisimlerin ağırlıkları arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?
($\sin 30° = \frac{1}{2}$, $\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}$ ve $\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

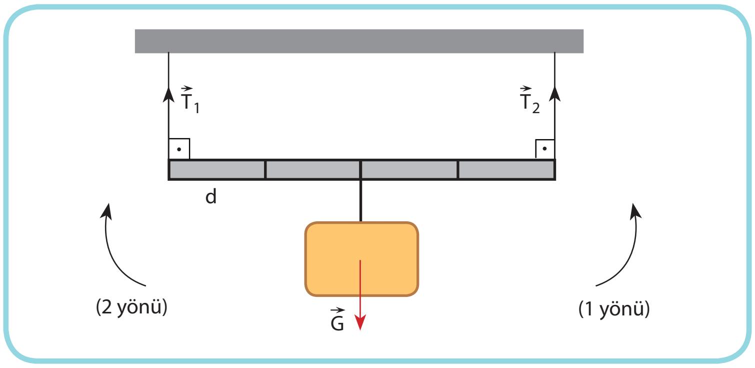
91. ALIŞTIRMA



Şekildeki gibi aynı noktaya uygulanan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri dengededir.

Buna göre kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?

ÇÖZÜM



Şekil 1.74: Çubuğa etki eden kuvvetlerin çubuğu döndürme yönleri

Ağırlığı ihmal edilen, her bir bölmesi d uzunluğunda olan ve ortasına $\vec{G}$ ağırlığında cisim bağlanan bir çubuk esnemeyen ipler ile asıldığında iplerde T_1 ve T_2 büyüklüğünde gerilme kuvvetleri oluşur (Şekil 1.74). Sistem dengede olduğuna göre toplam kuvvet

$\vec{G}+\vec{T}_1+\vec{T}_2=0$ ve kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki ilişki $T_1+T_2=G$ olur.

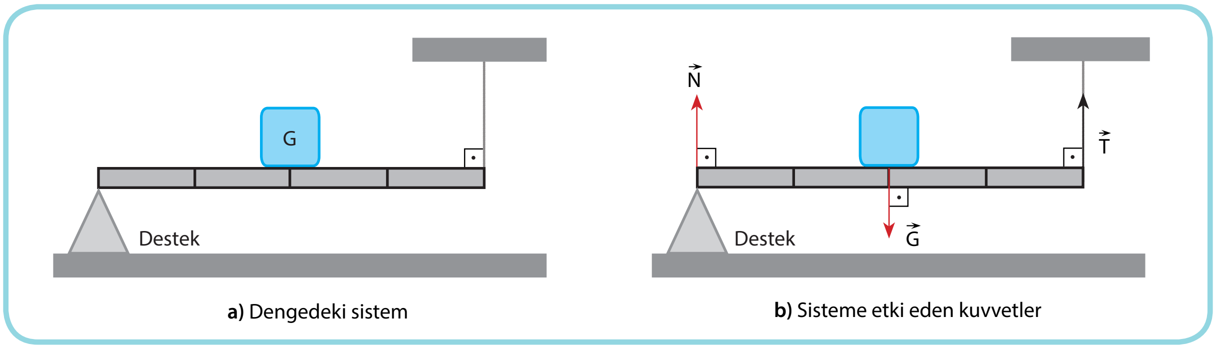
Sistem dengede olduğu için toplam tork sıfırdır. Çubuğa uygulanan kuvvetler çizilerek tork dengesinden ip gerginlikleri bulunabilir. Dengede olan sistemde seçilen herhangi bir noktaya göre toplam tork sıfırdır. Ancak tork alınacak nokta seçilirken problem çözümlerinde kolaylık sağlayacak noktaların seçilmesi tercih edilir. Şekilde $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ ve $\vec{G}$ olmak üzere üç değişken vardır. $\vec{T}_1$ gerilme kuvvetinin olduğu nokta dönme noktası olarak seçildiğinde $\vec{T}_1$ kuvveti bu noktadan geçtiği için tork etkisi yoktur. $\vec{G}$ ağırlığı, çubuğu 2 yönünde, $\vec{T}_2$ ip gerilmesi ise 1 yönünde dönmeye zorlar. Toplam torkun sıfır olabilmesi için zıt yönlü bu etkilerin eşit büyüklükte olması gerekir. Buna göre

$G \cdot 2d = T_2 \cdot 4d \implies T_2 = \frac{G}{2}$ olur.

Aynı yöntem kullanılarak $\vec{T}_2$ kuvvetinin bulunduğu nokta dönme noktası seçilip $\vec{T}_1$ bulunabilir. $\vec{T}_1$ gerilme kuvvetini bulmak için dengenin diğer koşulu $F_{toplam} = 0$ eşitliği de kullanılabilir. İplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin toplam büyüklüğü, cismin ağırlığına eşit olur. Buna göre $\vec{T}_1$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü

$T_1+T_2=G$ olduğundan

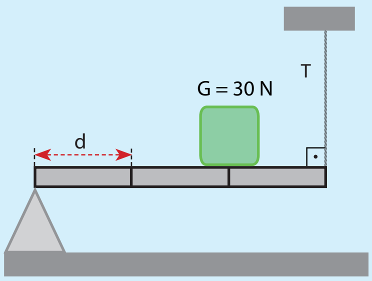
$T_1+\frac{G}{2}=G$ ve $T_1=\frac{G}{2}$ olur.



Şekil 1.75: Dengedeki sistem ve sisteme etkiyen kuvvetler

Ağırlığı ihmal edilen, her bir bölmesi d uzunluğunda olan ve ortasına G ağırlığında cisim konulan bir çubuk, bir ucundan esnemeyen iple asılarak ve diğer ucundan da desteğe temas ettirilerek dengelenebilir (Şekil 1.75.a). Böyle bir durumda ipte gerilme kuvveti oluşurken destekte de tepki kuvveti oluşur (Şekil 1.75.b). Kuvvetler sistem üzerine çizildikten sonra denge koşulları uygulanarak hem ipteki gerilme kuvveti hem de desteğin tepki kuvveti bulunabilir.

118. ÖRNEK



Ağırlığı ihmal edilen ve her bir bölmesi d uzunlukta olan eşit bölmeli çubuk, 30 N ağırlıklı cisim ile şekildeki gibi dengelenmektedir.

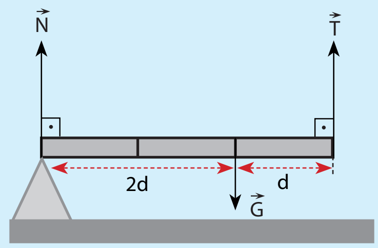
Buna göre

a) İpte oluşan $\vec{T}$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

b) Desteğin tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

ÇÖZÜM

Önce çubuğa etkiyen kuvvetler belirlenip çizilir.



a) $\vec{T}$ kuvvetini bulmak için $\vec{N}$ tepki kuvvetinin bulunduğu destek noktası dönme noktası olarak seçilip tork alındığında $\vec{N}$ tepki kuvvetinin döndürücü etkisi ortadan kaldırılmış olur. Buna göre $\vec{T}$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü

$G \cdot 2d = T \cdot 3d \Longrightarrow 30 \cdot 2 = T \cdot 3 \Longrightarrow T = 20$ N olur.

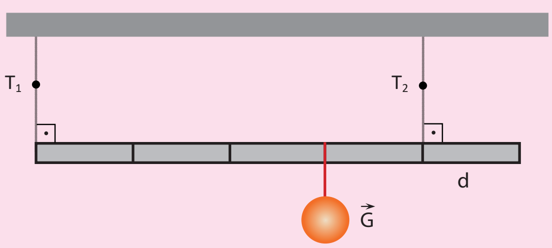
b) Denge durumunda $N + T = G$ olduğundan tepki kuvvetinin büyüklüğü

$N + 20 = 30 \Longrightarrow N = 10$ N olur.

$\vec{G}$ kuvvetinin büyüklüğü, $\vec{T}$ ve $\vec{N}$ kuvvetlerinin bileşkesinin büyüklüğüne eşittir. $\vec{G}$ ağırlığını dengeleyen $\vec{N}$ ve $\vec{T}$ kuvvetlerinin büyüklükleri, ağırlığın bulunduğu noktaya olan uzaklıkları ile ters orantılıdır. Bileşkeye yakın olan kuvvet, diğerinden daha büyük olur.

92. ALIŞTIRMA

Eşit ve d uzunluğunda bölmelere ayrılmış, ağırlığı ihmal edilen çubuk, $\vec{G}$ ağırlıklı cisim ile şekildeki gibi dengelenmiştir.



Buna göre iplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin büyüklüklerinin $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır?

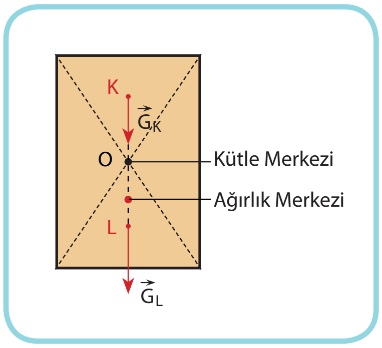
ÇÖZÜM

B) KÜTLE MERKEZİ VE AĞIRLIK MERKEZİ

Cisimlere etki eden kütle çekim kuvvetine **ağırlık** adı verilir. Cismi oluşturan parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin uygulama noktasına **ağırlık merkezi** denir. Yer çekimi olmayan ortamlarda cismin ağırlığı olmadığı için ağırlık merkezi kavramından söz edilemez. Ancak yer çekimi olmadığında bile cisimler bir kütleye sahiptir. Cismin sahip olduğu kütlenin tamamının toplandığı kabul edilen noktaya cismin **kütle merkezi** denir. Düzgün geometrik şekle sahip homojen cisimlerde kütle merkezi, cismin geometrik merkezindedir. Kütle merkezi, skaler bir büyüklüğün merkezi iken ağırlık merkezi, vektörel bir büyüklüğün uygulama merkezidir.

Bir noktadaki yer çekimi ivmesi, o noktanın Dünya'nın merkezine olan uzaklığına bağlı olarak değişir. Yeryüzüne yakın yerlerde yer çekimi ivmesi büyükken yeryüzünden uzaklaşıldıkça yer çekimi ivmesi azalır. Bu nedenle yeryüzünde duran bir cismin alt taraflarındaki noktalarına etkiyen yer çekimi kuvveti, üst taraflarındaki noktalarına etkiyen yer çekimi kuvvetinden büyüktür.

Kütle merkezi O noktası olan düzgün şekle sahip bir cismin O noktasına eşit uzaklıktaki eşit kütleli K ve L noktalarına etkiyen yer çekimi kuvvetlerinin büyüklükleri karşılaştırılırsa $G_L > G_K$ olur. Bu kuvvetlerin bileşkesi alındığında ise bileşke kuvvet, büyük kuvvete yakın ve dolayısıyla O noktasının altında olur. Cismin kütle merkezi O noktası iken ağırlık merkezi O noktasının altına kayar (Şekil 1.76).



Şekil 1.76: Düzgün şekle sahip cismin üzerindeki noktalara etkiyen yer çekimi kuvveti



Görsel 1.22: Gökdelenler

Gökdelen gibi çok yüksek yapıların her noktasına aynı büyüklükte çekim kuvveti etki etmez. Çekim kuvvetlerinin bileşkesinin yeri, çekim ivmesinin sabit kabul edildiği durumdaki bileşkenin yerinden farklı olur. Ancak kütle merkezi, yer çekiminden bağımsız olduğu için daima cismin geometrik merkezi olur. Bu nedenle yüksek binalarda ağırlık merkezi ile kütle merkezi çakışık olmaz (Görsel 1.22). Yeryüzünden uzaklaştıkça azalan yer çekimi ivmesindeki bu değişim, boyutları küçük cisimler üzerinde ihmal edilecek düzeyde iken çok yüksek cisimlerde fark edilecek düzeydedir. Gökdelen, kule gibi yüksek binalar yapılırken bu alanla ilgilenen mühendis ve mimarlar, projelerini ağırlık merkezinin yerine dikkat ederek hazırlar.

Kütle Merkezi ve Ağırlık Merkezinin Koordinatlarının Bulunması

Bir cisim pek çok küçük noktasal parçacıktan meydana gelmiştir. Bu parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin bulunduğu noktanın koordinatları, cismin ağırlık merkezinin koordinatlarını oluşturur. Yer çekimi ivmesinin cisim üzerindeki her noktada aynı olduğu kabul edilirse cismin ağırlık merkezi ile kütle merkezi çakışık olur.
Şekil 1.77'deki gibi x-y koordinat sisteminde bulunan bir cismin koordinatları (x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_3,y_3)... olan çok küçük parçacıklara ayrıldığı düşünülerek cisim incelenip ağırlık merkezinin koordinatları bulunabilir. $\vec{G}_1$, $\vec{G}_2$ ve $\vec{G}_3$ noktasal parçacıklarının ağırlıklarının bileşkesi $\vec{G}$ ise

$$\vec{G} = \vec{G}_1 + \vec{G}_2 + \vec{G}_3 + ... \text{ olur.}$$

$\vec{G}$ ağırlıklı cismi oluşturan parçacıklara etki eden yer çekimi kuvvetlerinin torklarının toplamı, cismin ağırlığının oluşturduğu torka eşittir.

$$\vec{\tau}_G = \vec{\tau}_{G_1} + \vec{\tau}_{G_2} + \vec{\tau}_{G_3} + ...$$

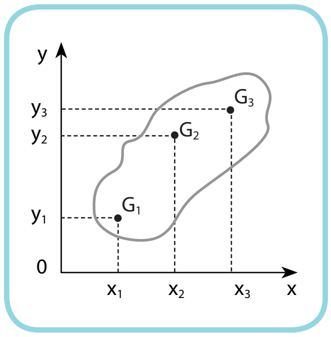
$G \cdot x = G_1 \cdot x_1 + G_2 \cdot x_2 + G_3 \cdot x_3 ...$ eşitliğinde $G = m \cdot g$ yerine yazıldığında

$$(m_1 + m_2 + m_3 + ...) \cdot g \cdot x = m_1 \cdot g \cdot x_1 + m_2 \cdot g \cdot x_2 + m_3 \cdot g \cdot x_3 + ...$$

$$(m_1 + m_2 + m_3 + ...) \cdot g \cdot x = (m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + ...) \cdot g$$

$$(m_1 + m_2 + m_3 + ...) \cdot x = (m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + ...) \text{ olur.}$$

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + ...}{m_1 + m_2 + m_3 + ...} \quad \text{elde edilir.}$$



Şekil 1.77: Bir cisme ait noktaların koordinatları

Cisim üzerindeki n tane nokta için genelleme yapılırsa

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + ... + m_n \cdot x_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n}$$ ifadesiyle cismin kütle merkezinin x koordinatı bulunur.

Bu nokta $\vec{g}$ yer çekimi ivmesi sabit ise aynı zamanda cismin ağırlık merkezinin x koordinatı olur.

$\vec{G}$ ağırlığının y eksenine göre torku, $\vec{G}_1$, $\vec{G}_2$ ve $\vec{G}_3$ ağırlıklarının y eksenine göre torklarının toplamına eşittir.

$$\vec{\tau}_G = \vec{\tau}_{G_1} + \vec{\tau}_{G_2} + \vec{\tau}_{G_3} + ...$$

$G \cdot y = G_1 \cdot y_1 + G_2 \cdot y_2 + G_3 \cdot y_3 ...$ eşitliğinde $G = m \cdot g$ yerine yazıldığında

$$(m_1 + m_2 + m_3 + ...) \cdot g \cdot y = m_1 \cdot g \cdot y_1 + m_2 \cdot g \cdot y_2 + m_3 \cdot g \cdot y_3 + ...$$

$$(m_1 + m_2 + m_3 + ...) \cdot g \cdot y = (m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + ...) \cdot g$$

$$(m_1 + m_2 + m_3 + ...) \cdot y = (m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + ...) \text{ olur.}$$

$$y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + ...}{m_1 + m_2 + m_3 + ...} \quad \text{elde edilir.}$$

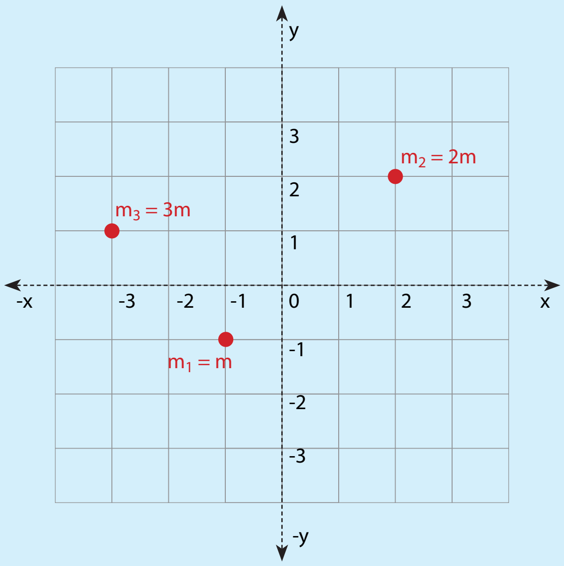
Cisim üzerindeki n tane nokta için genelleme yapılırsa

$$y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + ... + m_n \cdot y_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n}$$ ifadesiyle cismin kütle merkezinin y koordinatı bulunur.

Bu nokta $\vec{g}$ yer çekimi ivmesi sabit ise aynı zamanda cismin ağırlık merkezinin y koordinatı olur.

119. ÖRNEK

Şekildeki koordinat sisteminde m_1, m_2 ve m_3 kütleli cisimler bulunmaktadır.



Buna göre yer çekimi ivmesinin sabit olduğu bir ortamda cisimlerin oluşturduğu sistemin ağırlık merkezinin koordinatlarını (x,y) bulunuz?

ÇÖZÜM

Koordinat sistemindeki cisimlerin koordinat noktalarının m_1 (-1,-1), m_2 (2,2) ve m_3(-3,1) olduğu görülmektedir. Ağırlık merkezinin koordinatları, ağırlık merkezi koordinat denklemleri kullanılarak bulunur. Buna göre

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$x = \frac{m(-1) + 2m \cdot 2 + 3m(-3)}{m + 2m + 3m}$$

$$x = \frac{-6m}{6m}$$

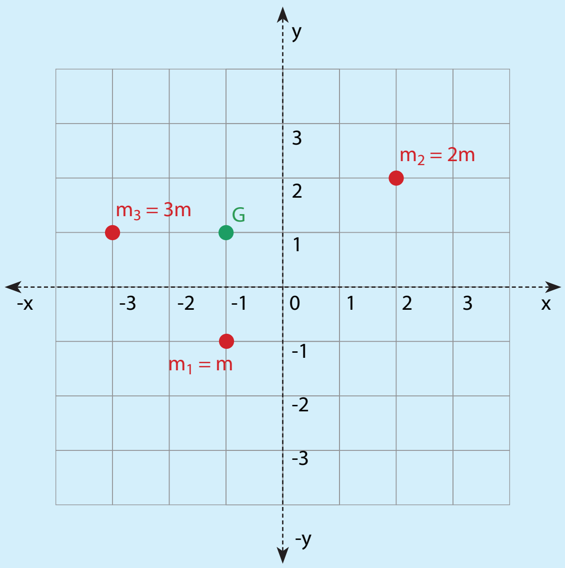
x = -1 bulunur.

$$y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$y = \frac{m(-1) + 2m \cdot 2 + 3m \cdot 1}{m + 2m + 3m}$$

$$y = \frac{6m}{6m}$$

y = 1 bulunur.



Şekilde G ile belirtilen ağırlık merkezinin koordinatları (-1,1) olur.

Düzgün geometrik şekle sahip olan cisimlerde kütle merkezi, cismin geometrik merkezidir. Eğer cisim düzgün geometrik şekle sahip değilse cismin kütle merkezi hesaplanarak bulunur.

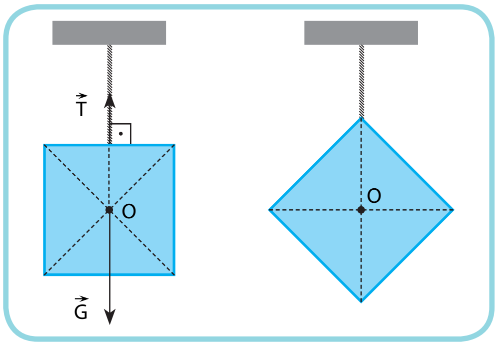


a) İp ile asılan cisim

b) Destek üzerinde duran cisim

Şekil 1.78: Düzgün ve türdeş bir çubuğun asıldığında ya da destek üzerine yerleştirildiğindeki denge durumu

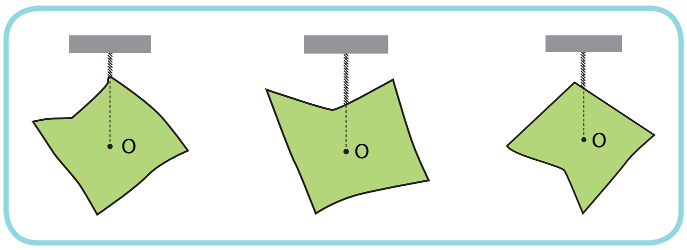
Düzgün ve türdeş bir çubuğun kütle merkezi, çubuğun tam orta noktasındadır. Eğer bu çubuk, kütle merkezinden asılırsa ya da bir destek üzerine yerleştirilirse dengede kalır (Şekil 1.78).



Şekil 1.79: Asılı hâldeki düzgün ve türdeş bir levhanın denge durumu

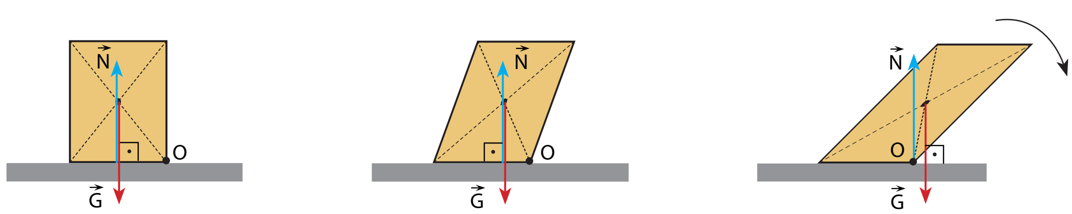
Kütle merkezi O noktası olan ve esnemeyen ip ile asılan, levha şeklindeki düzgün ve türdeş cisim, hangi noktasından asılırsa asılsın ip doğrultusu cismin kütle merkezinden geçecek şekilde dengede kalır (Şekil 1.79). Çünkü cismin kütle merkezinden geçen düşey doğrunun sağ tarafındaki bütün parçacıklara ait torkların toplamı, sol tarafındakilerle eşit büyüklüktedir ve bu torklar, birbirleriyle zıt yönlüdür. Bu nedenle toplam tork sıfır olur ve cisim dönmez. Cismin asılı olduğu ipteki gerilme kuvveti de cismin ağırlığına eşit büyüklükte ve zıt yönlü olduğundan cisim üzerindeki net kuvvet sıfır olur. Denge koşulları sağlandığı için cisim dengede kalır.

Türdeş olmayan ve kütle merkezi O noktası olan bir cisim esnemeyen iple hangi noktasından asılırsa asılsın ipin doğrultusu kütle merkezinden geçmek zorundadır (Şekil 1.80).



Şekil 1.80: Asılı hâldeki türdeş olmayan levhanın denge durumu

Yatay düzlemdeki bir cismin ağırlığı bulunduğu yüzeye her zaman diktir. Eğer cismin ağırlığının doğrultusu cismin taban sınırları içinde kalırsa cisim bulunduğu zemin üzerinde dengede kalır. Cismin ağırlığı $\vec{G}$ ile $\vec{N}$ zeminin tepki kuvvetinin O noktasına göre torkları birbirine eşit ve zıt yönlü olduğu için cisim dengededir (Şekil 1.81.a,b). Cismin ağırlığının doğrultusu, cismin taban sınırları içinden geçmezse cismin ağırlığının ve zeminin tepki kuvvetinin torkları birbirine eşit olmaz; bu nedenle cisim dengede kalamaz ve devrilir (Şekil 1.81.c).



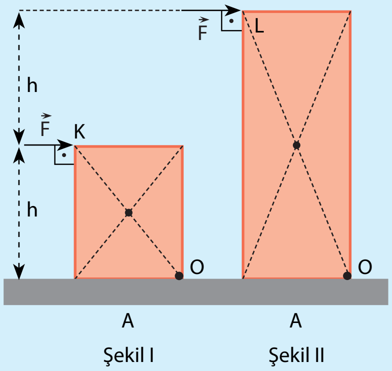
a) Düşey kenarları yere dik ve dengede olan cisim

b) Düşey kenarları yere dik olmayan dengedeki cisim

c) Düşey kenarları yere dik ve dengede olmayan cisim

Şekil 1.81: Bir yüzey üzerinde duran cisimlerin denge durumu

120. ÖRNEK

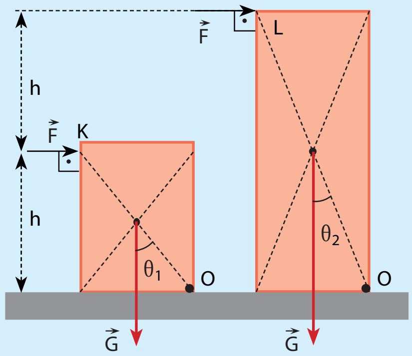


Şekil I ve Şekil II'de verilen aynı ağırlığa sahip h ve 2h yüksekliğindeki taban alanı A olan cisimler, K ve L noktalarına eşit kuvvet uygulanarak O noktası etrafında devrilmek istenmektedir.

Buna göre hangi cisim daha önce devrilir?

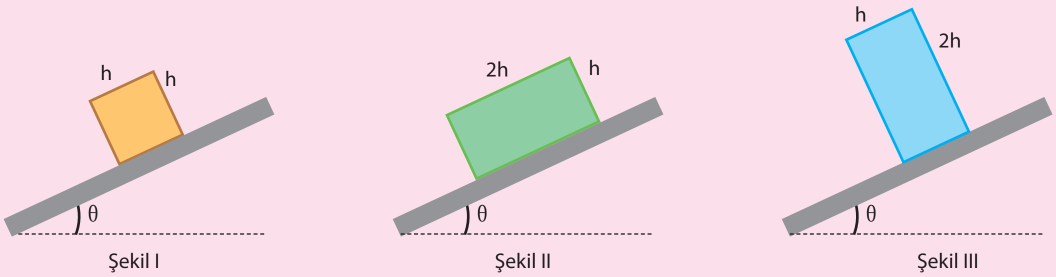
ÇÖZÜM

Cisimler devrilirken O noktası etrafında dönme hareketi yapar. Cisimlerin devrilmesi için ağırlıklarının doğrultusunun tabanlarının dışına çıkması gerekir. Şekil I'deki cismin θ_1, Şekil II'deki cismin θ_2 kadar döndürülmesi gerekir. $\theta_1 > \theta_2$ olduğundan Şekil II'deki cismin ağırlığının doğrultusu daha önce taban alanının dışına çıkar. Buna göre taban alanları ve ağırlıkları aynı olan iki cisimden yüksek olan daha önce devrilir.



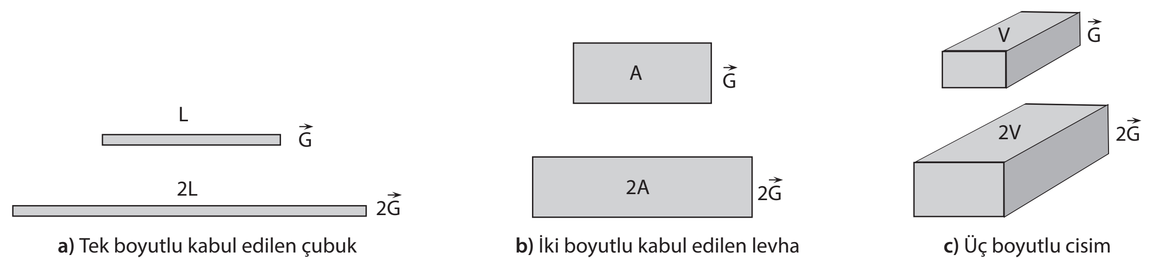
93. ALIŞTIRMA

Aynı maddeden yapılmış boyutları h cinsinden verilen türdeş prizmalar, şekillerdeki gibi özdeş eğik düzlemler üzerinde dengededir. Eğik düzlemlerin eğim açısı bütün cisimler devrilinceye kadar arttırılmaktadır.



Buna göre prizmaların devrilme sıralaması nedir?

ÇÖZÜM



Şekil 1.82: Türdeş cisimlerin ağılıklarının boyutları ile ilişkisi

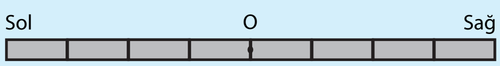
Özkütlesi aynı olan iki çubuktan uzunluğu L olanın ağırlığı $\vec{G}$ kadarsa uzunluğunun iki katına çıkarılması durumunda çubuğun ağırlığı $2\vec{G}$ olur (Şekil 1.82.a).

Özkütlesi aynı olan iki levhadan alanı A olanın ağırlığı $\vec{G}$ kadarsa alanının iki katına çıkarılması durumunda levhanın ağırlığı $2\vec{G}$ olur (Şekil 1.82.b).

Özkütlesi aynı olan iki cisimden hacmi V olanın ağırlığı $\vec{G}$ kadarsa hacminin iki katına çıkarılması durumunda cismin ağırlığı $2\vec{G}$ olur (Şekil 1.82.c).

Kesit uzunlukları diğer uzunluğunun yanında ihmal edilecek kadar küçük olan cisimler tek boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu durumda özkütleleri aynı olan tek boyutlu cisimlerin ağırlıkları uzunluklarıyla doğru orantılı olur. Kalınlığı, yüzey alanı yanında küçük olan cisimler iki boyutlu olarak kabul edilebilir. Bu durumda özkütleleri aynı olan iki boyutlu cisimlerin ağırlıkları alanlarıyla doğru orantılı olur. Özkütleleri aynı olan üç boyutlu cisimlerden içi boş olanlarının ağırlıkları yüzey alanlarının toplamıyla, içi dolu olanlarının ağırlıkları ise hacimleriyle doğru orantılı olur.

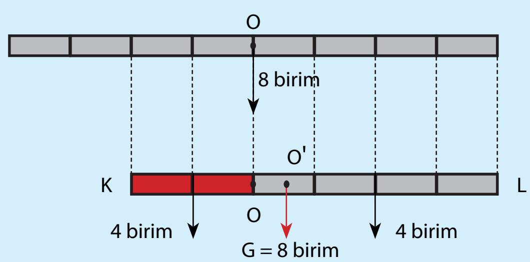
121. ÖRNEK



Eşit bölmeli türdeş çubuğun soldan ilk iki bölmesi, üç ve dördüncü bölmesi üzerine katlanırsa yeni oluşan şeklin ağırlık merkezi ilk durumuna göre ne kadar yer değiştirir?

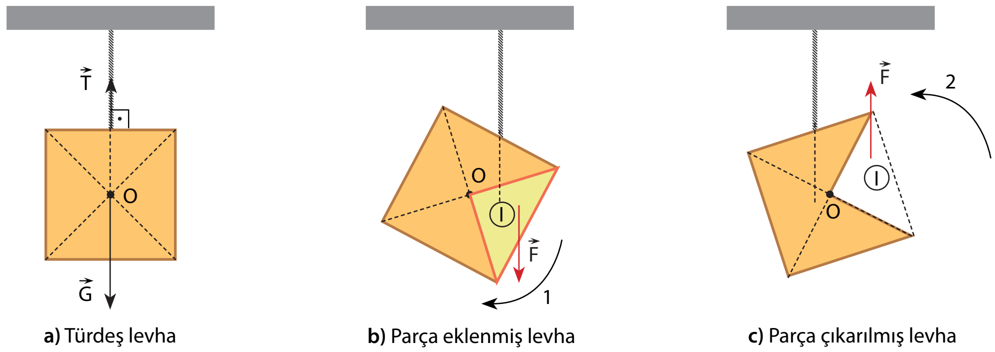
ÇÖZÜM

İlk durumda çubuğun ağırlık merkezi O noktasındadır. Çubuğun uzunluğu 8 birim olduğundan ağırlığı 8 birim alınabilir.



Katlanmış hâldeki çubuğun uç noktaları şekildeki gibi K ve L ile gösterildiğinde çift katlı olan KO parçasının ağırlık merkezi bu parçanın ortasındadır ve 4 birim çubuktan meydana gelmiştir. OL parçasının ağırlık merkezi de bu parçanın ortasındadır ve yine 4 birim çubuktan meydana gelmiştir.

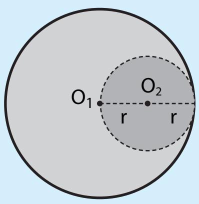
Kuvvet diyagramı şekildeki gibi çizildiğinde paralel ve aynı yönlü iki kuvvet elde edilir. Bu kuvvetlerin bileşkesinin uygulama noktası, çubuğun yeni ağırlık merkezini verir. Kuvvetler eşit olduğu için bileşkeleri de tam orta noktalarında (O') olur. Bu durumda çubuğun ağırlık merkezi, ilk durumuna göre sağ tarafa doğru $\frac{1}{2}$ bölme yer değiştirmiştir.



Şekil 1.83: Türdeş levhanın parça eklenme ve çıkarılma durumlarındaki denge durumu

Ağırlık merkezi O olan türdeş bir levha, esnemeyen ip ile asıldığında ağırlığının doğrultusu O noktasından geçecek şekilde dengede kalır (Şekil 1.83.a). Levha üzerindeki I numaralı bölmeye başka bir parça eklenirse levhanın dengesi 1 yönünde bozulur (Şekil 1.83.b). Levhanın I numaralı parçası çıkarılırsa levhanın dengesi 2 yönünde bozulur (Şekil 1.83.c). Bu nedenle sisteme eklenen parçaların ağırlığı aşağı yönde, sistemden çıkarılan parçaların ağırlığı ise yukarı yönde kuvvetle gösterilerek işlem yapılabilir.

122. ÖRNEK

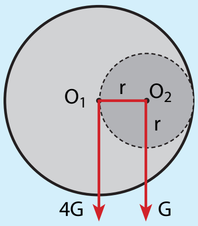


O_1 merkezli ve 2r yarıçaplı düzgün türdeş daire şeklindeki levhanın üzerine aynı maddeden yapılmış türdeş ve eşit kalınlıkta O_2 merkezli ve r yarıçaplı bir daire levha yapıştırılmıştır.

Buna göre oluşan cismin ağırlık merkezi O_1'den kaç r uzaklıkta olur?

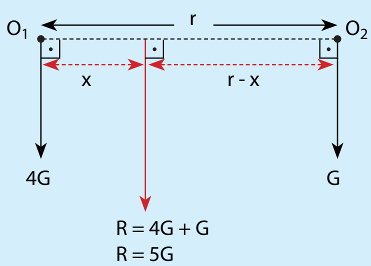
ÇÖZÜM

Levha şeklindeki cisimlerin ağırlığı, levhanın alanı ile orantılıdır. Eklenen parçanın ağırlığı, aşağı yönde gösterilir. O_1 merkezli daire $\vec{G}_1$ ve O_2 merkezli daire $\vec{G}_2$ ağırlığında alınırsa



O_1 merkezli parça için alan $A_1 = \pi \cdot (2r)^2 = 4\pi \cdot r^2 \Longrightarrow G_1 = 4G$ alındığında

O_2 merkezli parça için alan $A_2 = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot r^2 \Longrightarrow G_2 = G$ olur.



Oluşan paralel ve aynı yönlü kuvvetlerin bileşkesinin uygulama noktası, sistemin ağırlık merkezidir. Paralel ve aynı yönlü kuvvetlerin bileşkesi; kuvvetlerle aynı yönlü, kuvvetlerin arasında ve büyük olan kuvvete yakın olur.

Bileşke kuvvetin O_1 noktasına olan uzaklığı x olarak alındığında 4G ve G büyüklüğündeki kuvvetlerin bileşke kuvvetin uygulama noktasına göre torklarının büyüklükleri $\tau_1 = \tau_2$ olmalıdır.

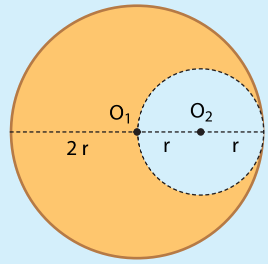
Buradan $4G \cdot x = G \cdot (r - x) \Longrightarrow 4x = r - x \Longrightarrow 5x = r \Longrightarrow x = \frac{r}{5}$ olarak bulunur.

Sistemin ağırlık merkezi, O_1 noktasından $\frac{r}{5}$ kadar uzakta olur.

123. ÖRNEK

Ağırlığı $\vec{G}_1$ olan O_1 merkezli ve 2r yarıçaplı türdeş levhadan $\vec{G}_2$ ağırlığında r yarıçaplı ve O_2 merkezli daire şeklindeki parça çıkarılmıştır.

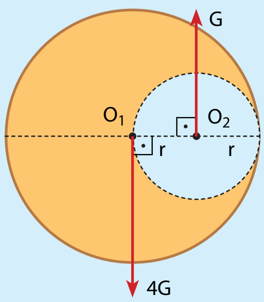
Buna göre yeni oluşan cismin ağırlık merkezi O_1 noktasına kaç r uzaklıkta olur?



ÇÖZÜM

Levha şeklindeki cisimlerin ağırlığı, levhanın alanı ile orantılıdır. Çıkarılan parçanın ağırlığı, yukarı yönlü kuvvet olarak alınır.

I. Yol



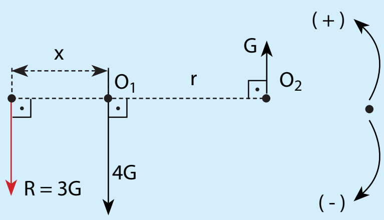
O_1 merkezli parça için alan $A_1 = \pi \cdot (2r)^2 = 4\pi \cdot r^2$ ve $G_1 = 4G$ alındığında

O_2 merkezli parça için alan $A_2 = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot r^2$ ve $G_2 = G$ olur.

Oluşan paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin bileşkesinin uygulama noktası sistemin ağırlık merkezidir. Paralel ve zıt yönlü kuvvetlerin bileşkesi; büyük kuvvetle aynı yönlü, kuvvetlerin dışında ve büyük olan kuvvet tarafındadır.

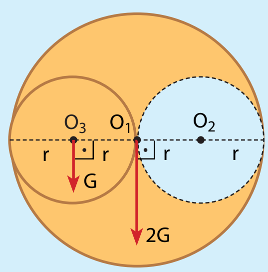
Bileşke kuvvetin O_1 noktasına olan uzaklığı x olarak alındığında 4G ve G büyüklüğündeki kuvvetlerin bileşke kuvvetin uygulama noktasına göre torklarının büyüklükleri arasındaki ilişki $\tau_1 = \tau_2$ olmalıdır. Buradan

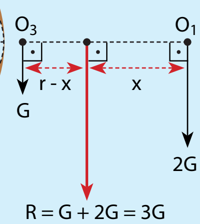
$4G \cdot x = G \cdot (r + x) \Longrightarrow 4x = r + x \Longrightarrow 3x = r \Longrightarrow x = \frac{r}{3}$ olarak bulunur. Sistemin ağırlık merkezi, O_1 noktasından $\frac{r}{3}$ kadar uzakta olur.



II. Yol Sistemden çıkarılan O_2 merkezli dairenin tam simetriğinden O_3 merkezli özdeş dairenin de çıkarıldığı düşünülürse geriye kalan şekildeki taranmış parçanın ağırlık merkezi O_1 noktası olur.

Büyük dairenin ağırlığı 4G ve çıkarılan parçaların ağırlığı G + G = 2G olduğundan kalan parçanın ağırlığı O_1 noktasında 4G – 2G = 2G olur. Çıkarıldığı düşünülen O_3 merkezli daire tekrar yerine yerleştirilip ağırlıklar gösterilirse paralel ve aynı yönlü kuvvetler elde edilmiş olur. Bu kuvvetlerin bileşkesinin uygulama noktası, ağırlık merkezini verir. Bileşke kuvvetin uygulama noktasının O_1 noktasına olan uzaklığına x denirse

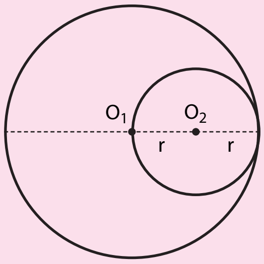




$2G \cdot x = G(r - x) \Longrightarrow 3x = r \Longrightarrow x = \frac{r}{3}$ olur.

94. ALIŞTIRMA

Aynı maddeden yapılmış homojen ve eşit kalınlıktaki düzgün tellerden oluşan 2r yarıçaplı O_1 merkezli çember ile r yarıçaplı O_2 merkezli çember, şekildeki gibi birleştirilmiştir.

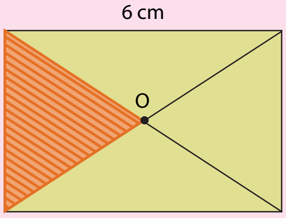


Buna göre oluşan cismin ağırlık merkezinin O_1 noktasına olan uzaklığı kaç r olur?

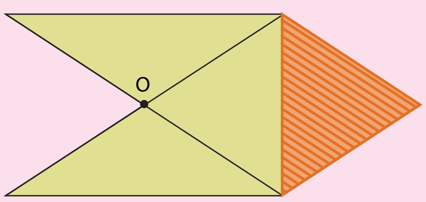
ÇÖZÜM

95. ALIŞTIRMA

Şekil I'deki bir kenarının uzunluğu 6 cm olan O merkezli dikdörtgen biçimindeki türdeş levhanın taralı kısmı kesilerek Şekil II'deki gibi levhanın diğer kenarına eklenmektedir.



Şekil I



Şekil II

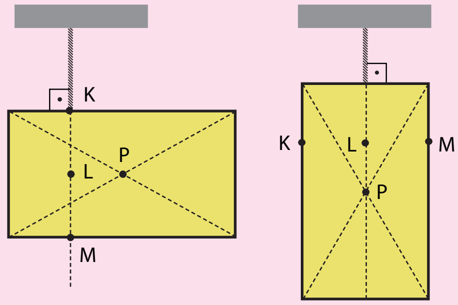
Buna göre oluşan cismin ağırlık merkezinin O noktasına olan uzaklığı kaç cm olur?

ÇÖZÜM

96. ALIŞTIRMA

Dikdörtgen levha Şekil I ve Şekil II'deki gibi asılarak farklı iki biçimde dengelenmiştir.

Buna göre levhanın ağırlık merkezi hangi noktadadır?



Şekil I Şekil II

ÇÖZÜM

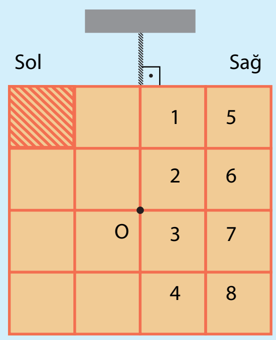
124. ÖRNEK

Kenar uzunlukları d ve her birinin ağırlığı G büyüklüğünde olan kare bölmelere ayrılmış levhanın ağırlık merkezi O noktası olup levha şekildeki gibi yatay dengededir.

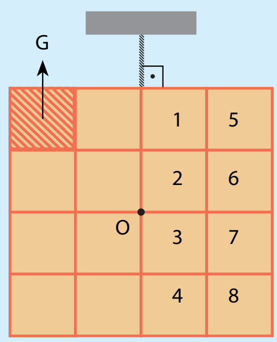
Levhadan taralı parça çıkarıldığında

a) Levhanın tekrar yatay dengede kalabilmesi için hangi parçalar çıkarılabilir?

b) Levhanın ağırlık merkezinin değişmemesi için hangi parça çıkarılabilir?



ÇÖZÜM



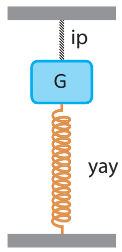
a) Taralı parça çıkarılırsa levhanın sol tarafına uygulanan torkun büyüklüğü $\tau = G \cdot \frac{3}{2}d$ kadar azalır ve levhanın dengesi bozulur. Dengenin tekrar sağlanması için ip doğrultusunun sağ tarafından da aynı büyüklükte tork etkisine sahip bir parçanın çıkarılması gerekir. 5, 6, 7 ve 8 numaralı parçalar incelendiğinde her parçanın ip doğrultusuna göre ayrı ayrı torkunun büyüklüğünün $\tau = G \cdot \frac{3}{2}d$ olduğu görülür. Bu parçalardan herhangi biri çıkarıldığında yatay denge tekrardan sağlanabilir.

1, 2, 3 ve 4 numaralı parçalar incelendiğinde her bir parçanın torkunun büyüklüğünün $\tau = G \cdot \frac{1}{2}d$ olduğu görülür. Bu parçalardan herhangi üçü çıkarılırsa toplam $\frac{3}{2}G \cdot d$ büyüklüğündeki kadar tork etkisine sahip parça çıkarılmış olur ve levhanın yatay dengesi yine sağlanabilir.

b) Levhanın ağırlık merkezinin değişmemesi için çıkarılan parçaların ağırlık merkezlerinin levhanın ağırlık merkezine göre simetrik olması gerekir. Bu durumu da 8 numaralı parça sağlar.

9. BÖLÜM SONU SORULARI

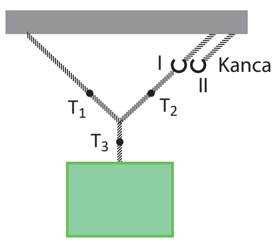
1. $\vec{G}$ ağırlığındaki cisim esnemeyen iple tavana ve bir yay ile zemine sabitlenmiştir. Dengedeki sistemde ip gerilmesi $\vec{T}_{ip}$, yayda oluşan kuvvet $\vec{T}_{yay}$'dır.



Buna göre $\vec{G}$ ağırlığı arttırıldığında $\vec{T}_{ip}$ ve $\vec{T}_{yay}$ kuvvetlerinin büyüklükleri nasıl değişir?

ÇÖZÜM

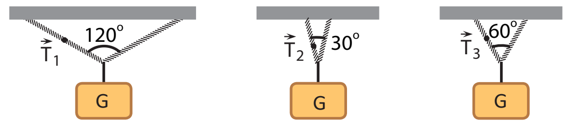
2. İplerle tavana asılmış $\vec{G}$ ağırlığındaki cisim dengededir. İplerde oluşan gerilme kuvvetleri $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ ve $\vec{T}_3$'tür.



Buna göre ipin ucu I numaralı kancadan çıkarılıp II numaralı kancaya takıldığında iplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin büyüklüğü nasıl değişir?

ÇÖZÜM

3. Ağırlığı $\vec{G}$ olan cisimler Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki gibi dengelenmiştir. Esnemeyen iplerdeki gerilme kuvvetleri $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ ve $\vec{T}_3$ kadardır.



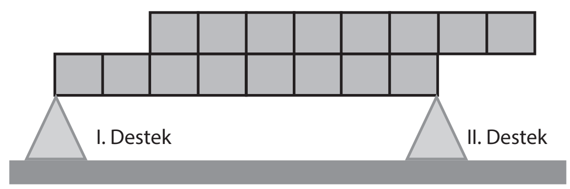
Şekil I Şekil II Şekil III

Buna göre iplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklük sıralaması nedir?

(sin 30° = $\frac{1}{2}$ ve sin 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

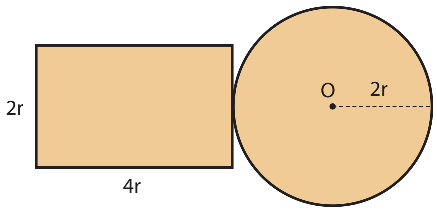
4. Eşit bölmeli özdeş ve türdeş çubuklar şekildeki gibi dengededir. I ve II desteklerinin tepki kuvvetlerinin büyüklükleri N_1 ve N_2 kadar olmaktadır.



Buna göre tepki kuvvetlerin büyüklükleri $\frac{N_I}{N_{II}}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

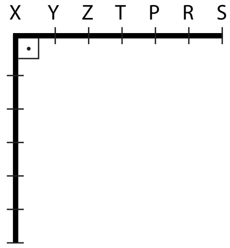
5. Aynı maddeden yapılmış aynı kalınlıktaki türdeş dikdörtgen ve dairesel levhalar şekildeki gibi birleştirilmiştir.



Buna göre sistemin ağırlık merkezi, O noktasından kaç r uzaklıktadır? ($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

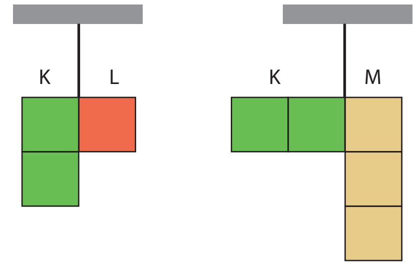
6. Eşit bölmelere ayrılmış türdeş ve düzgün tel, tam ortasından dik açı yapacak şekilde büküldükten sonra şekildeki konumda tutulmaktadır.



Buna göre tel hangi nokta ya da noktalar arasından asılıp serbest bırakılırsa telin konumu değişmez?

ÇÖZÜM

7. Homojen ve eşit bölmeli parçalardan oluşan K, L ve M cisimleri Şekil I ve Şekil II'deki gibi dengededir.



Şekil I Şekil II

Buna göre K, L ve M cisimlerinin $\vec{G}_K$, $\vec{G}_L$ ve $\vec{G}_M$ ağırlıklarını büyüklüklerine göre sıralayınız.

ÇÖZÜM

8. Dünyanın en yüksek binası, 828 m yüksekliğindeki Burj Khalifa'dır (Burj Halifa).



Bu gökdelenin kütle merkezi ile ağırlık merkezinin aynı noktada olup olmadığını açıklayınız.

ÇÖZÜM

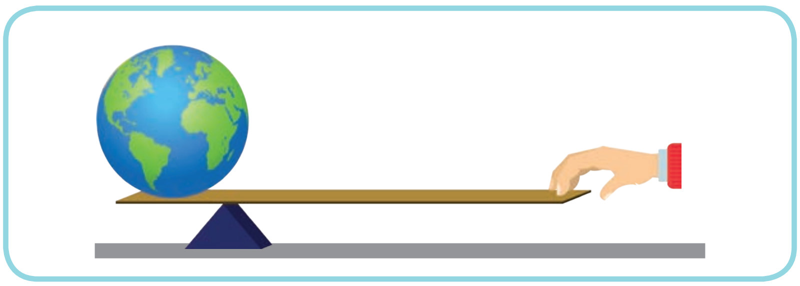
1.10. BASİT MAKİNELER



a) Efes Antik Kenti **b)** Keops Piramidi **c)** Sümela Manastırı

Görsel 1.23: Tarihî yapılar

Çağlar boyunca insanlar, farklı amaçlarla pek çok yapı inşa etmişlerdir (Görsel 1.23). Teknolojinin henüz gelişmediği dönemlerde insanların çok büyük taşları oldukça yükseğe nasıl çıkardığı ve bu yapıları nasıl inşa ettiği hep bir merak konusu olmuştur. İnsanlar akıllarını kullanıp kendi güçlerinin üstünde olan işleri yapmak için makineler icat etmişlerdir. Araştırmalarının büyük bir bölümü kaldıraç sistemi ve kuvvet dengesi üzerine olan ünlü matematikçi ve fizikçi Archimedes (Arşimed), "Bana yeterince uzun bir kaldıraç ve sağlam bir destek verin, Dünya'yı yerinden oynatayım." diyerek aslında büyük ağırlıkların bile insan gücü ile yerinden kaldırılabileceğine işaret etmiştir (Şekil 1.84).



Şekil 1.84: Kaldıraç kullanılarak çok ağır yüklerin kaldırılması

İnsanların icat ettiği birtakım makineler onların hayatlarını kolaylaştırmış, işlerini daha çabuk yapmalarını sağlamıştır. Günlük yaşantımızda iş yapma kolaylığı sağlayan araçlara **basit makineler** denir. Basit makineler iş kolaylığı sağlamak amacıyla kullanılır ancak işin yapılması için gereken enerjiden kazanç sağlanmaz. İdeal bir basit makinede kuvvetin yaptığı iş, yüke aktarılan enerjiye eşit olur. Kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü değiştirerek iş kolaylığı sağlayabilir.

Yapılan iş $W = F \cdot x$ olarak ifade edildiğinden bir basit makinede kuvvetten kazanç sağlanırsa aynı oranda yoldan kayıp olur. Yoldan kazanç sağlanıp kuvvetten kayıp edilen durumlar da vardır. Basit makineler genellikle kuvvetten kazanç sağlamak için yapılmış araçlardır. Kuvvetten elde edilen bu kazanca **kuvvet kazancı** ya da **mekanik avantaj** adı verilir. Kuvvet kazancı, taşınan yükün sisteme uygulanan kuvvete oranıdır. Buna göre

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{Taşınan yük}}{\text{Uygulanan kuvvet}}$$ olur.

Bir basit makinede taşınan yük ile sisteme uygulanan kuvvet eşit ise kuvvet kazancı 1 olur. Yük daha küçük bir kuvvetle dengelenirse bu durumda kuvvet kazancı 1'den büyük olur. Örneğin ağırlığı G büyüklüğünde olan yük, ağırlığının yarısı kadar bir kuvvetle dengelenirse

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{G}{\frac{G}{2}} = 2 \text{ olur.}$$

Basit makinelerde enerji kazancı olmadığından $W = F \cdot x$ eşitliğine göre kuvvet yarıya düştüğü için yol da iki katına çıkar. Bir basit makinede kuvvetten kazanç ne kadar büyükse yoldan kayıp o oranda fazladır.

Sürtünmelerin ihmal edildiği basit makineden alınan enerji, makineye verilen enerjiye enerjinin korunumu gereği eşittir. Böyle bir makinede verim %100 kabul edilir ancak sürtünmeden dolayı gerçekte durum böyle değildir. Makineden alınan enerji, makineye verilen enerjiden küçüktür. Enerji farkı azaldıkça verim artar. Bir makinenin verimi, makineden alınan enerjinin makineye verilen enerjiye oranından bulunur. Buna göre

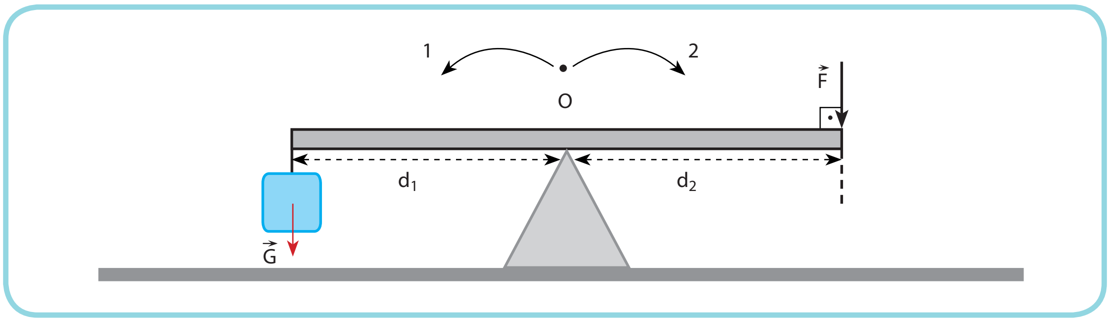
$\text{Verim} = \dfrac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}}$ olur. Yüzde (%) verim bulunurken elde edilen değer 100 ile çarpılır.

Kaldıraç, sabit ve hareketli makara, palanga, eğik düzlem, vida, çıkrık, çark ve kasnaklar basit makinelere örnek olarak verilebilir.

A) KALDIRAÇLAR

Bir destek noktası üzerinde hareket edebilen sistemlere **kaldıraç** denir. Kaldıraçlar; destek noktasının, yükün ve kuvvetin konumuna göre üç gruba ayrılır.

Desteğin Yük ile Kuvvet Arasında Olduğu Kaldıraçlar



Şekil 1.85: Desteğin ortada olduğu kaldıraçta $\vec{G}$ yükünün $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmesi

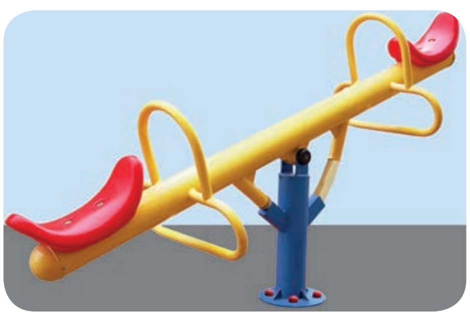
Destek üzerine yerleştirilmiş ağırlığı ihmal edilen bir çubuğun bir ucuna asılan $\vec{G}$ ağırlıklı yük, desteğin diğer ucuna uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile dengelendiğinde yükün ve uygulanan kuvvetin desteğe göre torklarının toplamı sıfır olur (Şekil 1.85).

$\vec{\tau}_{toplam} = 0 \Longrightarrow \vec{\tau}_G + \vec{\tau}_F = 0$

$\vec{G}$ ağırlığı, çubuğu 1 yönünde; $\vec{F}$ kuvveti ise 2 yönünde dönmeye zorlar. Bu nedenle

$G \cdot d_1 = F \cdot d_2$ olur.

$d_1 < d_2$ ise $F < G$ olacaktır ve yükü kaldırmak için yükün ağırlığından küçük bir kuvvet uygulanacaktır. Bu tür kaldıraçlarda kuvvetten kazanç olduğu için yoldan kayıp vardır. $d_1 = d_2$ ise $F = G$ olacağından kuvvetten kazanç yoktur. Tahterevalli, eşit kollu terazi ve makas desteğin arada olduğu kaldıraçlara örnek olarak verilebilir (Görsel 1.24).



a) Tahterevalli



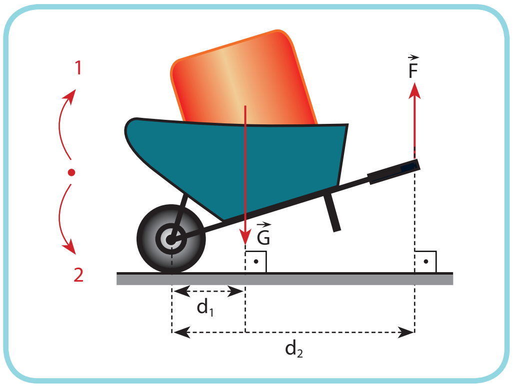
b) Eşit kollu terazi



c) Makas

Görsel 1.24: Desteğin yük ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlar

Yükün Destek ile Kuvvet Arasında Olduğu Kaldıraçlar



Şekil 1.86: Yükün arada olduğu kaldıraçta $\vec{G}$ yükünün $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmesi

Ağırlığı ihmal edilen el arabası ile taşınmak istenen $\vec{G}$ ağırlıklı yük $\vec{F}$ kuvveti ile dengelendiğinde yükün ve uygulanan kuvvetin, destek noktası olan tekerleğe göre torklarının toplamı sıfır olur (Şekil 1.86).

$$\vec{\tau}_{toplam} = 0 \Longrightarrow \vec{\tau}_G + \vec{\tau}_F = 0$$

El arabasını $\vec{G}$ ağırlığı, 1 yönünde; $\vec{F}$ kuvveti ise 2 yönünde döndürmeye zorlar. Bu nedenle

$G \cdot d_1 = F \cdot d_2$ olur.

Bu tür kaldıraçlarda her zaman $d_1 < d_2$ olduğundan $F < G$ olacaktır ve yükü kaldırmak için yükün ağırlığından daha küçük bir kuvvet uygulanacaktır. Bu durumda kuvvetten kazanç olduğu oranda yoldan kayıp vardır. Şişe açacağı ve ceviz kıracağı bu tür kaldıraçlara örnek olarak verilebilir (Görsel 1.25).



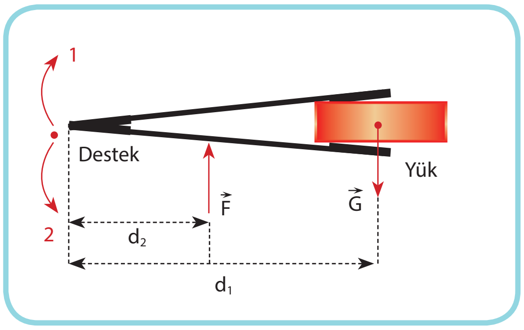
a) Şişe açacağı



b) Ceviz kıracağı

Görsel 1.25: Yükün destek ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlar

Kuvvetin Destek ile Yük Arasında Olduğu Kaldıraçlar



Şekil 1.87: Yükün uçta kuvvetin arada olduğu kaldıraçta $\vec{G}$ yükünün $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmesi

Ağırlığı ihmal edilen maşa kullanılarak $\vec{G}$ yükü $\vec{F}$ kuvveti ile dengelendiğinde yükün ve uygulanan kuvvetin, maşanın kollarının birleşim noktası olan destek noktasına göre torklarının toplamı sıfır olur (Şekil 1.87).

$$\vec{\tau}_{toplam} = 0 \Longrightarrow \vec{\tau}_G + \vec{\tau}_F = 0$$

$\vec{G}$ ağırlığı, maşayı 1 yönünde; $\vec{F}$ kuvveti ise 2 yönünde dönmeye zorlar. Bu nedenle

$F \cdot d_2 = G \cdot d_1$ olur.

Bu tür kaldıraçlarda her zaman $d_2 < d_1$ olduğundan $G < F$ olacaktır ve yükü kaldırmak için yükten daha büyük bir kuvvet uygulanacaktır. Bu tür kaldıraçlarda kuvvetten kayıp oranında yoldan kazanç vardır. Cımbız ve kürek bu tür kaldıraçlara örnek olarak verilebilir (Görsel 1.26).



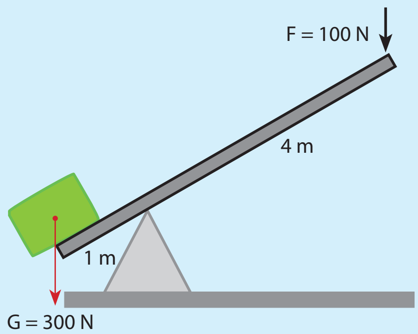
a) Cımbız



b) Kürek

Görsel 1.26: Kuvvetin destek ile yük arasında olduğu kaldıraçlar

125. ÖRNEK



Ağırlığı ihmal edilen çubuk üzerinde olan 300 N ağırlığındaki türdeş bir cisim, 100 N büyüklüğündeki kuvvetle şekildeki gibi dengelenmektedir.

Buna göre kaldıracın verimi nedir?

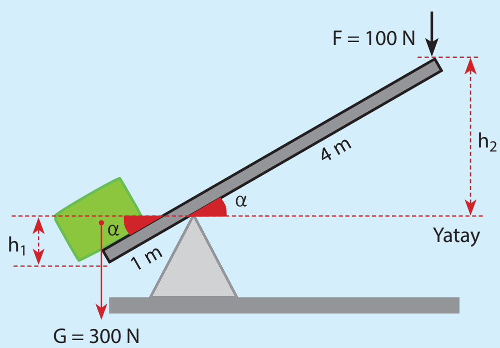
ÇÖZÜM

Kaldıracın cismi taşıyan ucunu sabit hızla yatay eksene getirebilmek için h_1 kadar yükseltirken $\vec{F}$ kuvveti uygulanan ucu h_2 kadar aşağıya indirilmelidir.

h_1 ve h_2 değerleri oranı $\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{4}$ olur. Buna göre

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}}$$

$$\text{Verim} = \frac{G \cdot h_1}{F \cdot h_2} = \frac{300 \cdot 1}{100 \cdot 4} = \frac{3}{4} \text{ olur.}$$



97. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta karşılaştığınız ve kaldıraç özelliği taşıyan aletlere örnekler vererek bu aletlerin işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

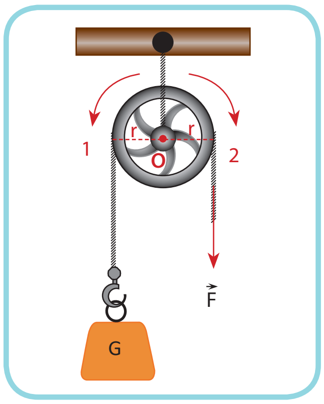


B) SABİT VE HAREKETLİ MAKARALAR

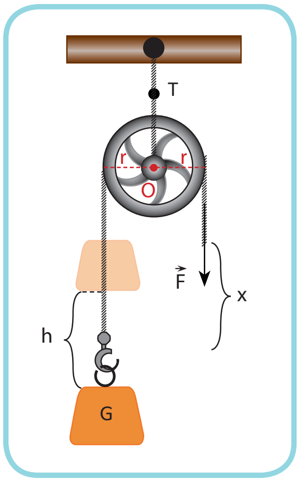
Merkezinden geçen eksen etrafında serbestçe dönebilen ve etrafına sarılı ipin çekilmesi ile dönme hareketi yapması sağlanan, tekerlek biçimindeki sistemlere **makara** denir. Makaralar, kuvvetten kazanç sağlamak ya da kuvvetin yönünü değiştirmek için kullanılır. Makaralar, basit makine sistemlerine kullanım amacına göre farklı şekillerde bağlanabilir.

Sabit Makara

Merkezinden geçen sabit bir eksen etrafında dönen ve yükü taşıyan ip ile birlikte öteleme hareketi yapmayan makaralara **sabit makara** denir. $\vec{G}$ ağırlıklı yük sabit makara kullanılarak $\vec{F}$ kuvveti ile dengelenmek istenirse $\vec{G}$ yükü, makarayı 1 yönünde dönmeye zorlarken uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ise makarayı 2 yönünde dönmeye zorlar (Şekil 1.88).



Şekil 1.88: Sabit makara ve $\vec{G}$ yükünün dengelenmesi



Şekil 1.89: Sabit makaralı sistemde $\vec{G}$ yükünün yer değiştirmesi

Sürtünme ve ip ağırlıklarının ihmal edildiği sistemlerde, sabit makara bu kuvvetlerin etkisinde dönmez ya da sabit hızla hareket ederse kuvvetlerin O noktasına göre toplam torku sıfır olur. Buna göre

$G \cdot r = F \cdot r \Longrightarrow G = F$ olur.

$\text{Kuvvet kazancı} = \dfrac{\text{Taşınan yük}}{\text{Uygulanan kuvvet}} = \dfrac{G}{F} = 1$ olur.

Kuvvetten kazanç olmadığı için yoldan da kayıp yoktur. Sabit makara sadece kuvvetin yönünü değiştirerek iş kolaylığı sağlar.

Sabit makara ile oluşturulan sistemde ip, F büyüklüğünde kuvvet ile x kadar aşağı yönde çekildiğinde $\vec{G}$ ağırlıklı yük, h kadar yükselir (Şekil 1.89). Enerji korunumuna göre

$G \cdot h = F \cdot x$ dir. Buna göre $F = G$ olduğundan $h = x$ olur.

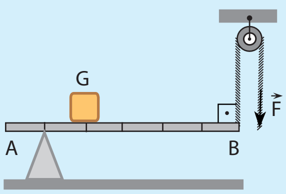
Sistem dengede ve makara ağırlığı ihmal edilmiş ise makaraya etkiyen net kuvvet sıfır olacağından makarayı taşıyan ipteki $\vec{T}$ gerilme kuvveti

$\vec{F}_{net} = 0 \Longrightarrow \vec{T} + \vec{G} + \vec{F} = 0 \Longrightarrow T = G + F$ büyüklüğünde olur.

Sistem dengede ve makara ağırlıklı ise makarayı taşıyan ipteki $\vec{T}$ gerilme kuvveti

$\vec{F}_{net} = 0 \Longrightarrow \vec{T} + \vec{G} + \vec{F} + \vec{G}_{makara} = 0 \Longrightarrow T = G + F + G_{makara}$ büyüklüğünde olur. Makaranın ağırlıklı olması uygulanan kuvveti etkilemez. Sadece makarayı taşıyan ipteki $\vec{T}$ gerilme kuvvetini arttırır.

126. ÖRNEK



Ağırlığı $2\vec{G}$ olan homojen ve her bir bölmesi d uzunluğuna sahip yatay çubuk, üzerine ağırlığı $\vec{G}$ olan cisim yerleştirilerek destek ve $\vec{F}$ kuvveti ile şekildeki gibi dengelenmektedir.

Sürtünmeler ve ip ağırlığı ihmal edildiğine göre

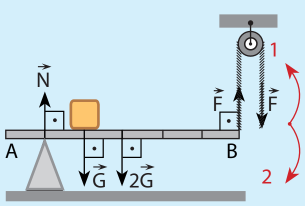
a) Sistemi dengede tutan $\vec{F}$ kuvetinin büyüklüğü kaç G olur?

b) Desteğin tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç G olur?

ÇÖZÜM

a) Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde ipin her noktasındaki gerilme kuvveti aynı olacağından sistemin kuvvet diyagramı çizilirken B noktasındaki ip gerilmesi $\vec{F}$ olarak gösterilir. Homojen çubuğun ağırlığı, çubuğun tam orta noktasında $2\vec{G}$ olarak gösterilirken desteğin tepki kuvveti şekilde gösterildiği gibi $\vec{N}$ olur.

Dengedeki sistemin herhangi bir noktaya göre toplam torku sıfır olmalıdır. Tork desteğe göre alındığında yükün ve çubuğun ağırlığı sistemi 2 yönünde dönmeye zorlarken B noktasına etki eden $\vec{F}$ kuvveti 1 yönünde dönmeye zorlar.

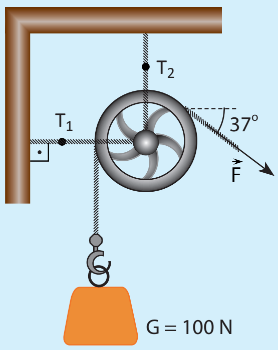


$\vec{\tau}_{toplam} = 0 \Longrightarrow G \cdot d + 2G \cdot 2d = F \cdot 5d \Longrightarrow 5G = 5F \Longrightarrow F = G$ olarak bulunur.

b) Dengedeki sisteme etkiyen net kuvvet sıfır olmalıdır. Buna göre

$\vec{F}_{net} = 0 \Longrightarrow \vec{N} + \vec{F} + \vec{G}_{cisim} + \vec{G}_{çubuk} = 0 \Longrightarrow N + F = 3G \Longrightarrow N + G = 3G \Longrightarrow N = 2G$ olur.

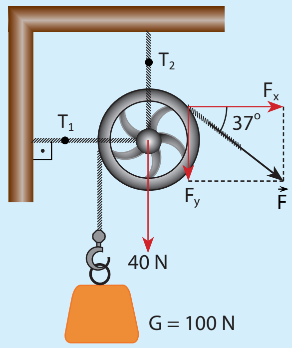
127. ÖRNEK



Sürtünmelerin ihmal edildiği, makara ağırlığının 40 N olduğu ve esnemeyen iplerle kurulan sistemde 100 N ağırlığındaki cisim, $\vec{F}$ kuvveti ile dengelenmiştir.

Buna göre iplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklüklerinin $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır? (sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8) alınız.

ÇÖZÜM



Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde aynı ip üzerindeki tüm noktaların gerilmesi aynı olduğundan 100 N büyüklüğündeki cismi dengeleyen ipteki gerilme kuvveti de F = 100 N olur.

Sistem dengede olduğundan makaraya etkiyen kuvvetlerin toplamı sıfırdır. Bu nedenle $\vec{F}$ kuvveti bileşenlerine ayrıldığında

$F_x = F \cdot \cos 37° = F \cdot 0{,}8 = 100 \cdot 0{,}8 = 80$ N

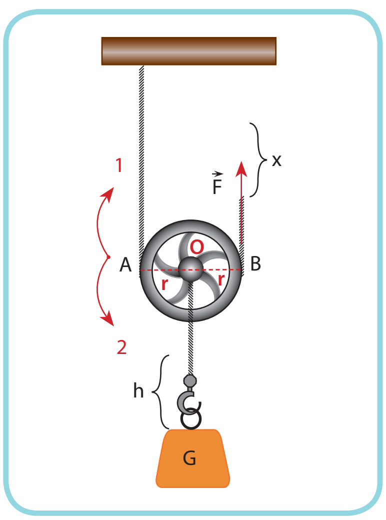
$F_y = F \cdot \sin 37° = F \cdot 0{,}6 = 100 \cdot 0{,}6 = 60$ N olur.

Dengedeki sabit makarada makarayı sola çeken kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamı, sağa çeken kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamına eşit olmalıdır. $T_1 = F_x = 80$ N

Dengedeki sabit makarada makarayı yukarı çeken kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamı, aşağı çeken kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamına eşit olmalıdır.

$T_2 = F_y + G_{makara} + G \Longrightarrow T_2 = 60 + 40 + 100 = 200$ N $\quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{80}{200} = \frac{2}{5}$ olarak bulunur.

Hareketli Makaralar



Şekil 1.90: Hareketli makarada $\vec{G}$ yükünün dengelenmesi

Etrafına sarılmış ip aracılığı ile dönerek yükle birlikte öteleme hareketi yapan makarayla oluşturulan sisteme **hareketli makara** denir. Bu tür makaralar, makaranın çevresinden geçen ipe bir kuvvet uygulandığında yük ile birlikte hareket eder.

Ağırlığı ihmal edilen hareketli makarada makara çevresinden geçen ipe yükü dengeleyebilecek $\vec{F}$ kuvveti uygulanırsa makara sabit hızla dönerek yükselmeye başlar. $\vec{F}$ kuvveti, makarayı A noktasına göre 2 yönünde, $\vec{G}$ yükü 1 yönünde dönmeye zorlar (Şekil 1.90). Sistem dengede olduğunda kuvvetlerin A noktasına göre torkları eşit olur. Buna göre

$F \cdot 2r = G \cdot r \Longrightarrow F = \frac{G}{2}$ dir. Bu durumda

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{Taşınan yük}}{\text{Uygulanan kuvvet}} = \frac{G}{F} = \frac{G}{\frac{G}{2}} = 2$$

olur. Hareketli makarada kuvvetten iki kat kazanç elde edilir, yoldan ise iki kat kaybedilir.

Makara ağırlığının ihmal edildiği sistemde makara çevresindeki ip $\vec{F}$ kuvveti ile x kadar çekilirse enerji korunumuna göre $\vec{G}$ ağırlıklı cisim

$F \cdot x = G \cdot h \Longrightarrow \frac{G}{2} \cdot x = G \cdot h \Longrightarrow h = \frac{x}{2}$ kadar yükselir.

Hareketli makaranın kendi ağırlığı olması durumunda $\vec{G}$ yükünü dengeleyen kuvvet sistemin dönme noktası olan A noktasına göre tork alınarak

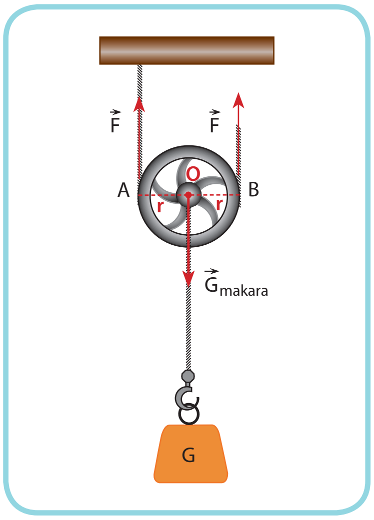
$F \cdot 2r = (G + G_{makara}) \cdot r \Longrightarrow F = \frac{G + G_{makara}}{2}$ ile bulunur (Şekil 1.91).

Sistem dengede olduğunda net kuvvet sıfıra eşit olacağından $\vec{F}$ kuvveti

$\vec{F}_{net} = 0$ ile de bulunabilir. Buna göre

$\vec{F} + \vec{F} + \vec{G} + \vec{G}_{makara} = 0$

$2F = G + G_{makara} \Longrightarrow F = \frac{G + G_{makara}}{2}$ olur.

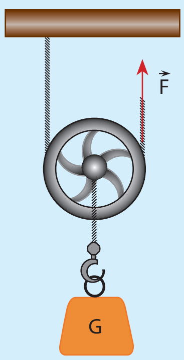


Şekil 1.91: Ağırlıklı ve hareketli makarada yükü dengeleyen kuvvet

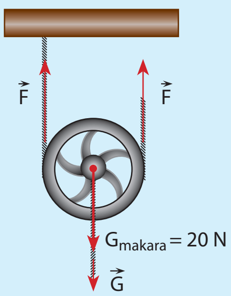
128. ÖRNEK

20 N ağırlığındaki hareketli makara ile $\vec{G}$ ağırlıklı cisim şekildeki gibi $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmektedir.

Kuvvetin uygulandığı ip en fazla 50 N gerilme kuvvetine dayanabildiğine göre hareketli makara ile en fazla kaç N yük taşıyabilir?



ÇÖZÜM



Sistem dengede olduğuna göre makaraya etki eden net kuvvet sıfırdır.

$\vec{F}_{net} = 0$

$\vec{F} + \vec{F} + \vec{G} + \vec{G}_{makara} = 0 \Longrightarrow F + F = G + G_{makara}$

İp en fazla 50 N kuvvete dayanabildiğinden F = 50 N'dır. Buna göre

$2 \cdot 50 = G + 20 \Longrightarrow G = 80$ N olur.

98. ALIŞTIRMA

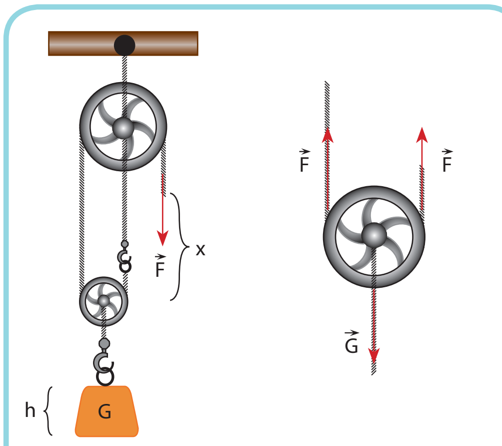
Günlük hayatta karşılaştığınız sabit ve hareketli makaraların kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

C) PALANGALAR

İki ya da daha fazla makaranın farklı şekillerde bağlanmasıyla elde edilen sisteme **palanga** denir. Palanga sistemi dengede ise sisteme etki eden net kuvvet sıfırdır.

Makara ağırlığın ihmal edildiği ve uygulanan kuvvet ile yükün farklı makaralarda olduğu palangalarda yük ile kuvvet arasındaki ilişkiyi bulmak için önce iplerdeki gerilme kuvvetleri gösterilmelidir. Palangalarda yük, hareketli makaralara asıldığından hareketli gruba bu grubu taşıyan ip sayısı kadar yukarı yönlü kuvvet uygulanmış demektir. Bu kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamı yüke eşittir.



a) Palanga sistemi

b) Yükü taşıyan makarada kuvvetlerin gösterimi

Şekil 1.92: Palanga sistemi ve kuvvetlerin gösterimi

Yükü taşıyan makara üzerindeki kuvvetlerden

$F + F = G \Longrightarrow F = \frac{G}{2}$ olur (Şekil 1.92). Bu durumda

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{Taşınan yük}}{\text{Uygulanan kuvvet}}$$

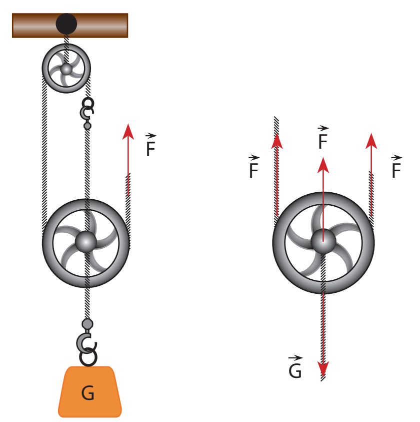
$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{G}{F} = \frac{G}{\frac{G}{2}} = 2 \text{ olur.}$$

Kuvvetten iki kat kazanç sağlanırken yoldan da iki kat kayıp vardır. Makara ağırlıkları ihmal edilen sistemde $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak ip x kadar çekildiğinde $\vec{G}$ yükü h kadar yükselirse enerji korunumuna göre

$$F \cdot x = G \cdot h \Longrightarrow \frac{G}{2} \cdot x = G \cdot h$$

$h = \frac{x}{2}$ olur.

Makara ağırlığın ihmal edildiği ve kuvvet ile yükün aynı makarada olduğu palangalarda yük ile kuvvet arasındaki ilişkiyi bulmak için önce iplerdeki gerilme kuvvetleri gösterilmelidir.



a) Kuvvetle yükün aynı makarada olduğu palanga sistemi

b) Yükü taşıyan makara üzerinde kuvvetlerin gösterimi

Şekil 1.93: Kuvvetle yükün aynı makarada olduğu palanga sistemi ve kuvvetlerin gösterimi

Yükü taşıyan makara üzerindeki kuvvetlerin büyüklüklerinden

$F + F + F = G \Longrightarrow F = \frac{G}{3}$ olur (Şekil 1.93).

Bu durumda

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{Taşınan yük}}{\text{Uygulanan kuvvet}}$$

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{G}{F} = \frac{G}{\frac{G}{3}} = 3 \text{ olur.}$$

Makara ağırlığın ihmal edildiği sistemde F büyüklüğünde kuvvet uygulanarak ip x kadar çekildiğinde $\vec{G}$ yükü h kadar yükselirse enerji korunumuna göre

$$F \cdot x = G \cdot h$$

$\frac{G}{3} \cdot x = G \cdot h \Longrightarrow h = \frac{x}{3}$ olur.

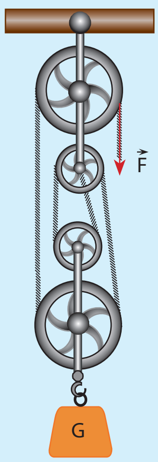
Kuvvetten üç kat kazanç sağlanırken yoldan üç kat kayıp vardır.

99. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta karşılaştığınız palangaların kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

129. ÖRNEK



Ağırlığı ihmal edilen makaralarla ve esnemeyen iple kurulan palanga sisteminde 80 N ağırlığındaki $\vec{G}$ yükü, $\vec{F}$ kuvvetiyle şekildeki gibi dengelenmektedir.

Buna göre $\vec{F}$ kuvveti kaç N olur?

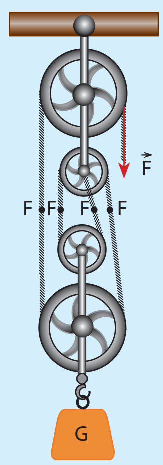
ÇÖZÜM

Yükü taşıyan hareketli makaralar ile oluşan sistemin çevresinden geçen iplerdeki gerilme kuvvetleri şekildeki gibi gösterildiğinde

$\vec{F}_{net} = 0$ olacağından kuvvetlerin büyüklüğü

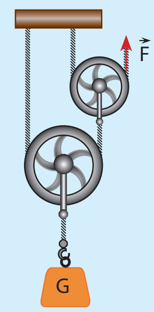
$4F = G = 80$ N

$F = 20$ N olur.



130. ÖRNEK

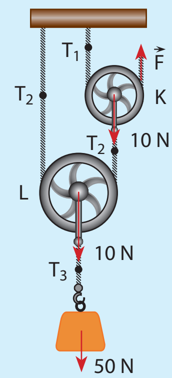
Sürtünmelerin ihmal edildiği 10 N ağırlığındaki makaralarla şekildeki gibi kurulan sistemde 50 N ağırlığındaki cisim, $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmektedir.

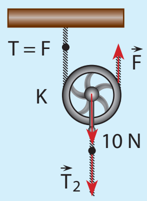


Buna göre $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

ÇÖZÜM

Aynı ip üzerinde aynı gerilme kuvveti vardır. Bu nedenle $T_1 = F$ olur. Sisteme etkiyen kuvvetler şekildeki gibi gösterilir. Sistem dengede olduğundan sisteme etkiyen net kuvvet sıfır olur.



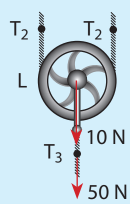


K makarasına etki eden kuvvetlerin dengesinden

$F + F = T_2 + 10$

$2F = T_2 + 10$

$T_2 = 2F - 10$ olur.



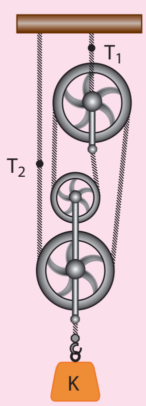
L makarasına etki eden kuvvetlerin dengesinden

$T_2 + T_2 = 50 + 10$

$2T_2 = 60$ olur. $T_2 = 2F - 10$ olduğundan

$2(2F - 10) = 60 \Longrightarrow 4F - 20 = 60 \Longrightarrow 4F = 80 \Longrightarrow F = 20$ N olur.

100. ALIŞTIRMA



Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde K cismi ve makaralar 20 N ağırlığındadır.

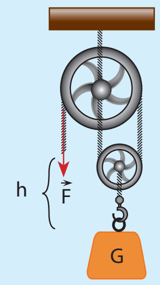
Buna göre esnemeyen iplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

131. ÖRNEK

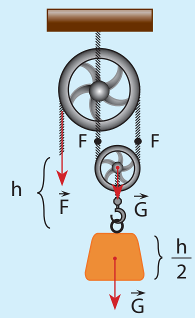
Ağırlığı $\vec{G}$ olan cisim $\vec{F}$ kuvveti ile şekildeki gibi h kadar çekilerek sabit hızla yükseltilmektedir.

Makaraların her birinin ağırlığı $\vec{G}$ olduğuna göre sistemin verimi nedir?



ÇÖZÜM

Sistemin verimini bulmak için yüke aktarılan ve kuvvetin yaptığı işlerin ayrı ayrı bulunması gerekir. Sistem bir hareketli ve bir sabit makaradan oluşmuştur. $\vec{F}$ kuvveti ile ip h kadar çekilirse $\vec{G}$ ağırlıklı cisim $\frac{h}{2}$ kadar yükselir. Sisteme etki eden kuvvetler şekildeki gibi gösterilir.



Hareketli makara üzerinde denge şartı $F_{net} = 0$ uygulanırsa

$2F = G + G \Longrightarrow 2F = 2G \Longrightarrow F = G$ olur.

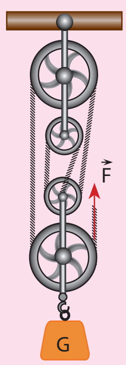
Kuvvetin yaptığı iş $W_F = F \cdot h = G \cdot h$

Yüke aktarılan enerji $W_G = G \cdot \frac{h}{2}$

Sistemin verimi

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}} = \frac{G\frac{h}{2}}{G \cdot h} = \frac{1}{2} \text{ olur.}$$

101. ALIŞTIRMA

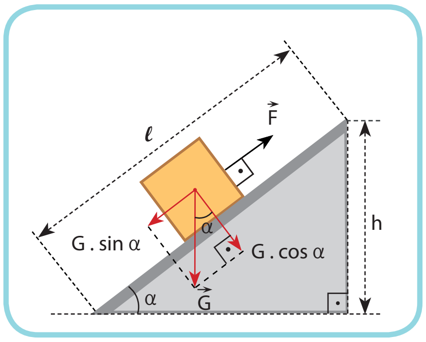


Ağırlığı ihmal edilen makaralarla kurulan palanga sisteminde $\vec{G}$ ağırlıklı yük, büyüklüğü 15 N olan $\vec{F}$ kuvvetiyle şekildeki gibi dengelenmektedir.

Buna göre $\vec{G}$ ağırlığı kaç N olur?

ÇÖZÜM

Ç) EĞİK DÜZLEM



Şekil 1.94: Eğik düzlem üzerindeki yükün dengede kalması

Bir düzlemin bir kenarının alçak, diğer kenarının yüksek bir yere dayanmasıyla elde edilen eğimli yola **eğik düzlem** denir. Eğik düzlem, bir cismi bulunduğu yerden yükseğe çıkarabilmek için kullanılan en basit düzenektir. Cisim, eğik düzlem boyunca çekilerek ya da itilerek istenilen yere çıkartılabilir.

Şekil 1.94'teki $\vec{G}$ ağırlıklı yük, $\vec{F}$ kuvveti ile sürtünmelerin ihmal edildiği ve eğim açısı α olan eğik düzlem üzerinde sabit hızla çekildiğinde cisme etkiyen net kuvvet sıfır olacaktır. Buna göre

$F = G \cdot \sin\alpha$ olur.

$\sin\alpha = \dfrac{h}{\ell}$ olduğundan

$F = G\,\dfrac{h}{\ell} \Longrightarrow F \cdot \ell = G \cdot h$ olur.

Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemde bir cismi sabit hızla çeken $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş, cismin kazandığı potansiyel enerjiye eşittir. $\ell > h$ olduğundan $G > F$'dir. Eğik düzlemde yoldan kaybedilerek kuvvetten kazanç sağlanmış olur. Bedensel engelli bireylerin ulaşım hakları doğrultusunda günlük yaşamda kullanabilecekleri rampalar eğik düzlemin kullanıldığı yerlerdendir (Görsel 1.27).

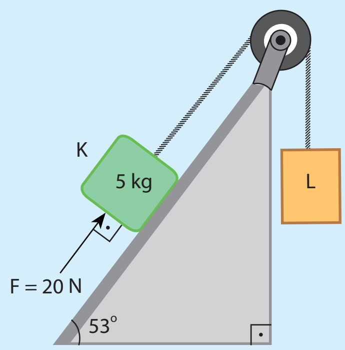


Görsel 1.27: Engelli rampası

132. ÖRNEK

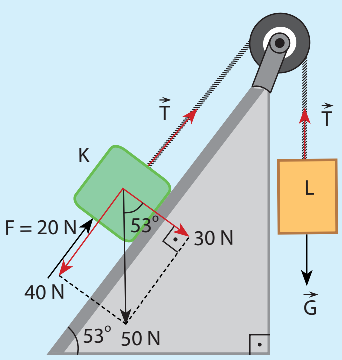
Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemde L cismi ile 5 kg kütleli K cismi 20 N büyüklüğünde kuvvetle şekildeki gibi dengelenmektedir.

Buna göre L cisminin ağırlığının büyüklüğü kaç N olur?
(sin 53° = 0,8; cos 53° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)



ÇÖZÜM

Eğik düzlemdeki yüke etkiyen kuvvetler şekildeki gibi gösterilir.



$G_K = m \cdot g = 5 \cdot 10 = 50$ N

$G_{K_x} = G \cdot \sin 53^\circ = 50 \cdot 0{,}8 = 40$ N

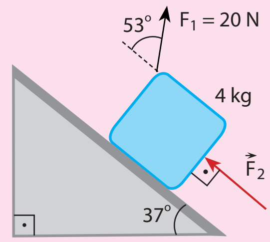
$G_{K_y} = G \cdot \cos 53^\circ = 50 \cdot 0{,}6 = 30$ N

Sistem dengede olduğuna göre sisteme etkiyen net kuvvetin sıfıra eşit olması gerekir. Bu nedenle K cismini eğik düzlemde aşağıya çeken kuvvetlerin toplamı, yukarı çeken kuvvetlerin toplamına eşittir.

$G_{K_x} = F + T \Longrightarrow 40 = 20 + T \Longrightarrow T = 20$ N olur. Aynı şekilde L cismi için de net kuvvet sıfıra eşit olacağından $G = T \Longrightarrow G = 20$ N olur.

102. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemdeki 4 kg kütleli cisme $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri şekildeki gibi uygulanmaktadır.



$\vec{F}_1$ kuvvetinin büyüklüğü 20 N olduğuna göre cismin dengede kalabilmesi için $\vec{F}_2$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N olmalıdır?
(cos 37° = 0,8; sin 37° = 0,6 ve g = 10 m/s² alınız.)

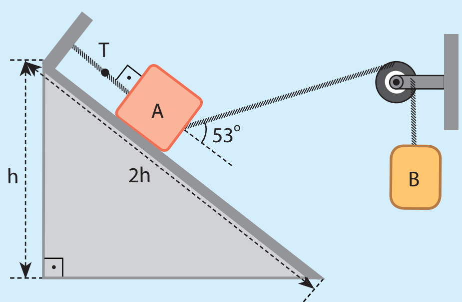
ÇÖZÜM

103. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta karşılaştığınız eğik düzlemlerin kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

133. ÖRNEK



Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde ağırlıkları 20 N olan A cismi ile 10 N olan B cismi şekildeki gibi dengededir.

Buna göre $\vec{T}$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?
(sin 53° = 0,8 ve cos 53° = 0,6 alınız.)

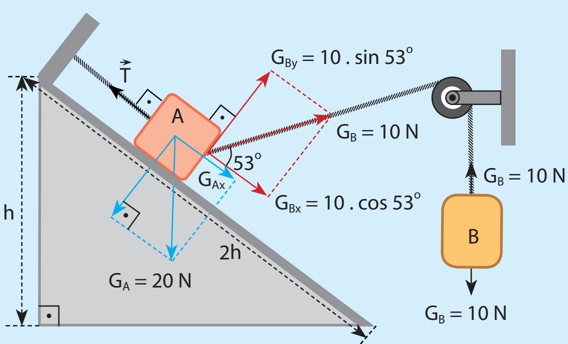
ÇÖZÜM

Eğik düzlemdeki A cisminin ağırlığının eğik düzleme paralel bileşenini bulmak için

F · L = G · h eşitliği kullanılırsa

$G_{Ax} \cdot 2h = 20 \cdot h \Longrightarrow G_{Ax} = 10$ N bulunur.

Tüm kuvvetlerin eğik düzleme paralel ve dik bileşenleri şekildeki gibi gösterilirse

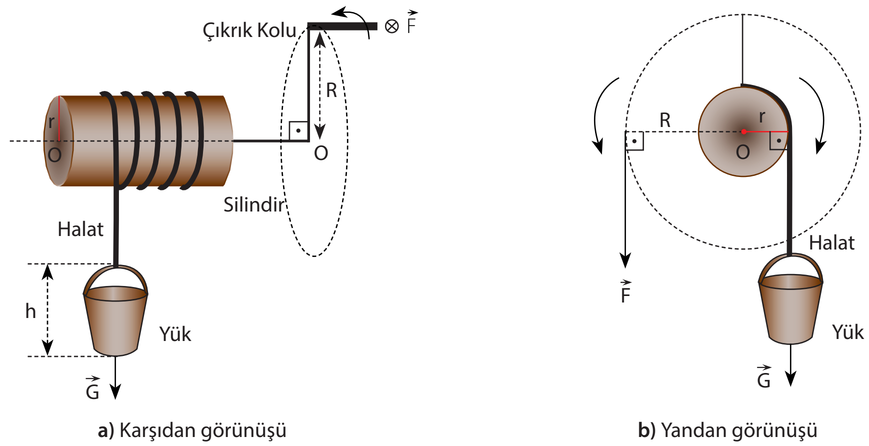


$G_{Bx} = G_B \cdot \cos 53° \Longrightarrow G_{Bx} = 10 \cdot 0,6 = 6$ N $\qquad G_{By} = G_B \cdot \sin 53° \Longrightarrow G_{By} = 10 \cdot 0,8 = 8$ N olur.

Sistem dengede olduğuna göre A cismi üzerindeki toplam kuvvet sıfırdır.

Buna göre $T = G_{Ax} + G_{Bx} \Longrightarrow T = 10 + 6 \Longrightarrow T = 16$ N olur.

D) ÇIKRIK



Şekil 1.95: Çıkrık

Eski çağlardan beri kullanılan **çıkrık;** merkezinden geçen eksen etrafında dönebilen bir silindir, silindirin merkezine bağlı bir kol ve üzerine sarılı halat ya da zincirden oluşmuş bir sistemdir (Şekil 1.95.a). Bisiklet pedalı, kapı kolu ve kapı anahtarı çıkrık sistemi örnekleridir. Çıkrık sisteminde $\vec{G}$ ağırlığı ile onu dengelemeye çalışan $\vec{F}$ kuvveti çıkrığı farklı yönlerde dönmeye zorlar (Şekil 1.95.b). Yükün dengelenebilmesi için $\vec{G}$ ağırlığı ve $\vec{F}$ kuvvetinin O eksenine göre torkları eşit büyüklükte olmalıdır.

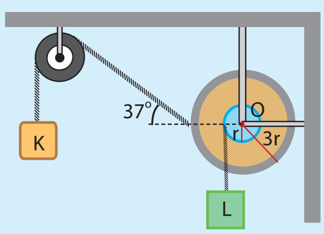
Buna göre $F \cdot R = G \cdot r$ olur.

Çıkrık kolu F büyüklüğünde kuvvetle bir tur döndürüldüğünde ipin sarılı olduğu silindir de bir tur döner. Yük, silindirin çevresi kadar yer değiştirir. Çıkrık kolu n tur döndüğünde yük h kadar yer değiştirirse enerji korunumuna göre kuvvetin yaptığı iş, yüke aktarılan enerjiye eşit olur. Buna göre

$F \cdot 2\pi \cdot R \cdot n = G \cdot h \Longrightarrow \frac{G \cdot r}{R} 2\pi \cdot R \cdot n = G \cdot h \Longrightarrow n \cdot 2\pi \cdot r = h$ olur. Makara çevresi Ç alınırsa $h = n \cdot Ç$ yazılabilir.

Yükün yer değiştirme miktarı; uygulanan kuvvete, yükün büyüklüğüne ve kol uzunluğuna bağlı değildir.

134. ÖRNEK



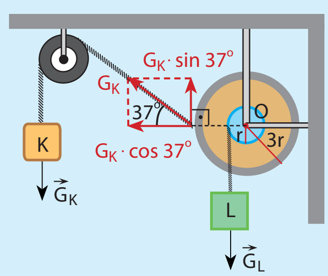
Ağırlıkları sırasıyla $\vec{G}_K$ ve $\vec{G}_L$ olan K ve L cisimleri, sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde şekildeki gibi dengededir.

Buna göre K ve L cisimlerinin ağırlıklarının büyüklükleri $\frac{G_K}{G_L}$ oranı kaçtır? (sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

ÇÖZÜM

K cismini taşıyan ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü K cisminin ağırlığının büyüklüğüne eşittir. $\vec{G}_K$ gerilme kuvveti şekildeki gibi bileşenlerine ayrılır. Sistem dengede olduğundan ip gerilmelerinin O noktasına göre toplam torku sıfırdır.

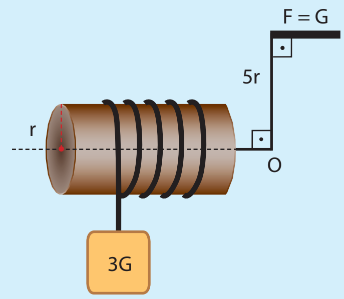
$G_K \cdot \sin 37° \cdot 3r = G_L \cdot r \Longrightarrow G_K \cdot 0{,}6 \cdot 3r = G_L \cdot r \Longrightarrow \frac{G_K}{G_L} = \frac{1}{1{,}8} = \frac{5}{9}$ olur.



135. ÖRNEK

Şekildeki çıkrık sisteminde ağırlığının büyüklüğü 3G olan cisim, G büyüklüğündeki kuvvetle ancak dengelenmiştir.

Çıkrık silindiri r, çıkrık kolu 5r yarıçapa sahip olduğuna göre çıkrığın verimi % kaçtır?



ÇÖZÜM

Çıkrık kolu bir tam tur döndürüldüğünde kuvvetin yaptığı iş $G \cdot 2\pi \cdot 5r = 10G \cdot \pi \cdot r$ olur.

Çıkrık kolu bir tam tur döndürüldüğünde silindir de bir tam tur döner. Bu durumda yükün yaptığı iş

$3G \cdot 2\pi \cdot r = 6 \cdot G \cdot \pi \cdot r$ olur.

Verim $= \dfrac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}} = \dfrac{6G \cdot \pi \cdot r}{10G \cdot \pi \cdot r} = \dfrac{3}{5}$ bulunur. % verim bulunurken elde edilen değer 100

ile çarpılır. Buna göre $\frac{3}{5}\,100 = 60$ olur. Bu durumda çıkrığın verimi %60 olur.

104. ALIŞTIRMA

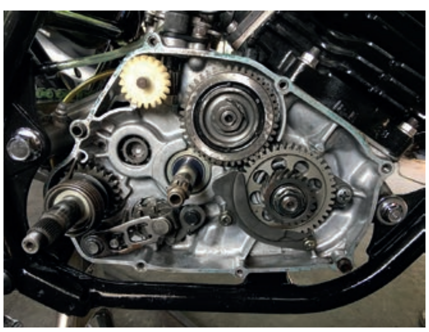
Günlük hayatta karşılaştığınız çıkrıkların kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

E) ÇARKLAR



Görsel 1.28: Dişli çark

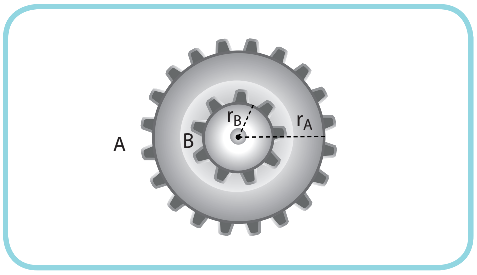


Görsel 1.29: Motor içindeki dişli çarklar

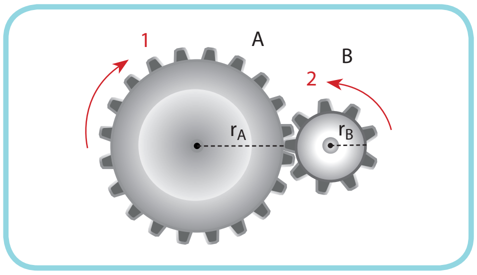


Görsel 1.30: Saat içindeki dişli çarklar

Bir merkez etrafında dönebilen ve çevresinde dişlerin sıralandığı disk şeklindeki çarklara **dişli** denir. Dişliler, birlikte ve eş zamanlı çalışması gereken mekanik parçalar arasında bağlantıyı sağlar (Görsel 1.28). Dişler, dişli çarklarda birbiri arasına girdiğinden dişlilerden biri döndüğünde diğerleri de döner (Görsel 1.29). Çark üzerindeki diş sayısı, çarkların yarıçaplarıyla doğru orantılıdır. Dişli çarklar ile dönme yönü ve tur sayısı değiştirilerek iş yapma kolaylığı sağlanmış olur. Günlük hayatta motorların, saatlerin (Görsel 1.30) ve bunun gibi mekanizmaların içerisinde dişli çarklar çokça kullanılır.



Şekil 1.96: Merkezleri çakışık, farklı yarıçaptaki dişliler



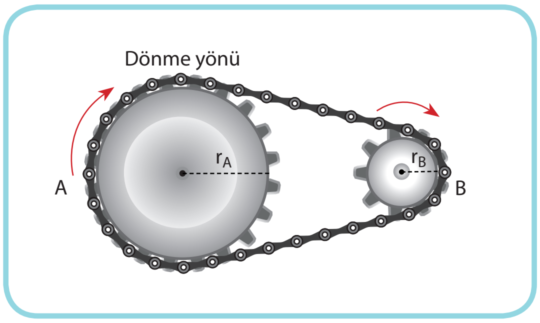
Şekil 1.97: Birbirine dıştan temas eden dişliler

Yarıçapları farklı A ve B dişlilerinin merkezleri aynı olacak şekilde birleştirilmesiyle elde edilen sistemde A ve B dişlilerinin dönme yönü ve tur sayıları aynıdır. Bu şekilde bağlanmış dişlilerin tur sayısı yarıçaplarından bağımsızdır (Şekil 1.96).

Yarıçapları farklı A ve B dişlilerinin birbirine dıştan temas edecek şekilde birleştirilmesiyle elde edilen sistemde A dişlisi 1 yönünde dönerken B dişlisini 2 yönünde dönmeye zorlar (Şekil 1.97). A dişlisinin dönmesine neden olan kuvvet, B dişlisinin de dönmesine neden olur. Enerji korunduğu için her iki dişli üzerinde yapılan iş birbirine eşittir. A dişlisi n_A tur döndüğünde B dişlisi n_B tur döner. Enerjinin korunumuna göre

$F \cdot 2\pi \cdot r_A \cdot n_A = F \cdot 2\pi \cdot r_B \cdot n_B$ eşitliğinden

$r_A \cdot n_A = r_B \cdot n_B$ bulunur. A ve B dişlilerinin tur sayıları yarıçaplarının büyüklüğü ile ters orantılıdır.



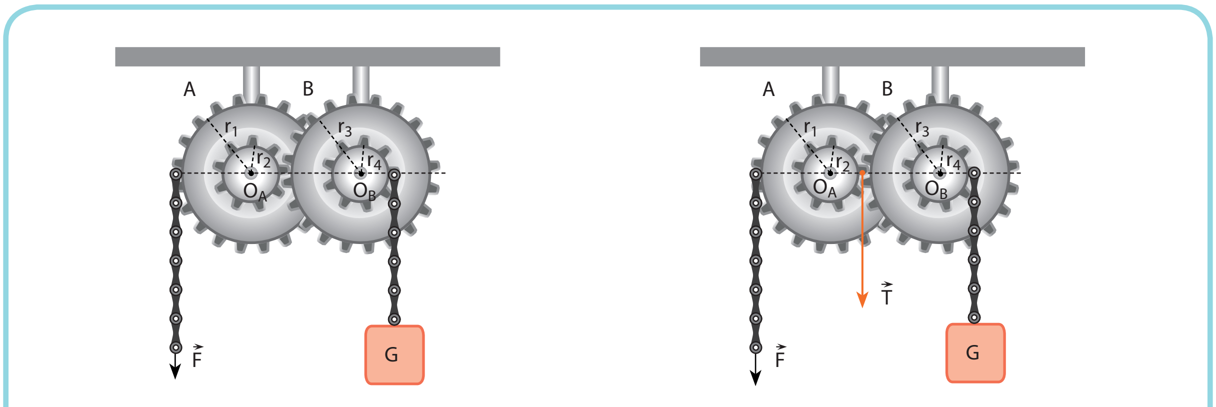
Şekil 1.98: Birbirine zincir ile bağlı dişliler

A ve B dişlileri bir zincir ile birbirine bağlanmış ise bu dişlilerin dönme yönü aynı olur (Şekil 1.98). Zincir üzerinde her noktada gerilme kuvveti aynıdır ve enerji korunumuna göre A dişlisi üzerinde yapılan iş, B dişlisi üzerinde yapılan işe eşit olmalıdır. Buna göre

$F \cdot 2\pi \cdot r_A \cdot n_A = F \cdot 2\pi \cdot r_B \cdot n_B$ eşitliğinden

$r_A \cdot n_A = r_B \cdot n_B$ bulunur.

A ve B dişlilerinin tur sayıları yarıçaplarının büyüklüğü ile ters orantılıdır.



Şekil 1.99: Hem aynı hem de farklı merkezli olacak şekilde bağlanmış dişlilerde $\vec{G}$ yükünün dengelenmesi

İki dişli hem aynı hem de farklı merkezli olacak şekilde bağlanarak $\vec{G}$ yükü $\vec{F}$ kuvveti ile dengelendiğinde sistemde toplam tork sıfıra eşit olur. Sistemde küçük dişli ile büyük dişlinin temas noktalarındaki etkileşim kuvveti $\vec{T}$ olarak alındığında (Şekil 1.99)

A dişli sistemi üzerinde O_A noktasına göre tork

$F \cdot r_1 = T \cdot r_2$

$T = \dfrac{F \cdot r_1}{r_2}$ olarak bulunur.

B dişli sistemi üzerinde O_B noktasına göre tork

$T \cdot r_3 = G \cdot r_4 \Longrightarrow \dfrac{F \cdot r_1}{r_2} r_3 = G \cdot r_4$

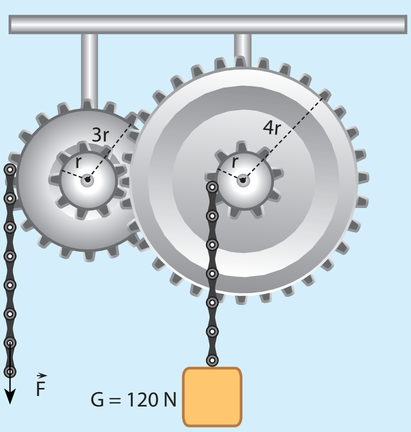
$F \cdot r_1 \cdot r_3 = G \cdot r_2 \cdot r_4$ olarak bulunur.

105. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta karşılaştığınız çarkların kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

136. ÖRNEK



r, 3r ve 4r yarıçaplarına sahip dişliler şekildeki gibi birbirine bağlanmış ve 120 N ağırlığındaki cisim $\vec{F}$ kuvveti ile dengelenmiştir.

Buna göre $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

ÇÖZÜM

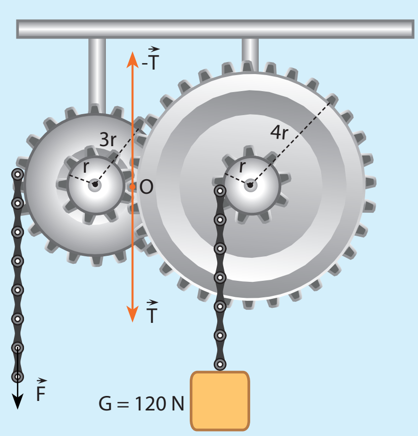
O noktasında r yarıçaplı dişlinin 4r yarıçaplı dişliye uyguladığı kuvvete $\vec{T}$ denirse sistem dengede olduğundan $\vec{\tau}_{toplam} = 0$ olacaktır. Şekildeki ilk dişli sisteminin merkezine göre tork alınırsa

$F \cdot 3r = T \cdot r \Longrightarrow T = 3F$ olarak bulunur.

$\vec{T}$ kuvveti ile $\vec{G}$ ağırlığının ikinci sistemin merkezine göre torku alınırsa

$T \cdot 4r = G \cdot r \Longrightarrow 3F \cdot 4r = 120 \cdot r \Longrightarrow 12F = 120$

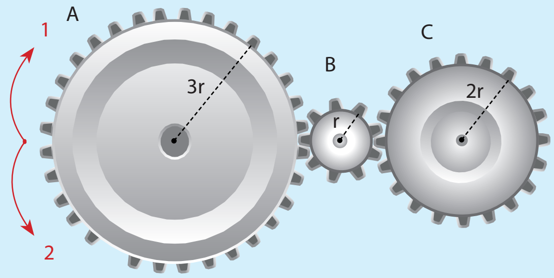
$F = 10$ N olarak bulunur.



137. ÖRNEK

Yarıçapları sırasıyla 3r, r ve 2r olan A, B ve C dişlileri birbirlerine dıştan temas edecek şekilde birleştirilmiştir.

Buna göre A dişlisi 1 yönünde 2 tur dönerse C dişlisi hangi yönde kaç tur döner?



ÇÖZÜM

A dişlisi 1 yönünde döndüğünde B dişlisini ters yönde dönmeye zorlar ve B dişlisi şekildeki gibi 2 yönünde döner. B dişlisi de C dişlisini kendisiyle zıt yönde dönmeye zorlayacağı için C dişlisi 1 yönünde döner.

A dişlisi 2 tur dönerse B dişlisi

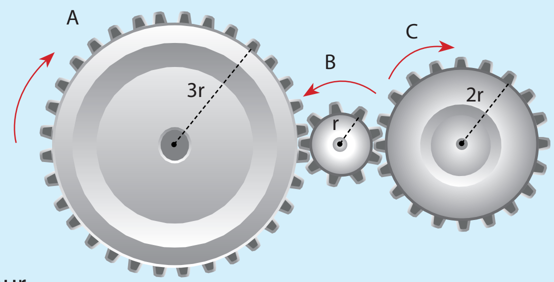
$r_A \cdot n_A = r_B \cdot n_B \Longrightarrow 3r \cdot 2 = r \cdot n_B \Longrightarrow n_B = 6$ tur döner.

B dişlisi 6 tur dönerse C dişlisi

$r_B \cdot n_B = r_C \cdot n_C \Longrightarrow r \cdot 6 = 2r \cdot n_C \Longrightarrow n_C = 3$ tur döner.

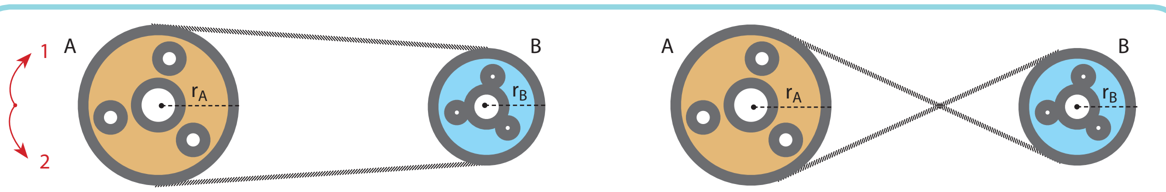
Sadece A ve C dişlileri dikkate alınırsa

$r_A \cdot n_A = r_C \cdot n_C \Longrightarrow 3r \cdot 2 = 2r \cdot n_C \Longrightarrow n_C = 3$ tur bulunur.



Buna göre birbirine sadece dıştan temas eden çok sayıda dişliden oluşan sistemlerde ilk ve son dişlileri dikkate alarak işlem yapmak yeterlidir. Aradaki çarklar sadece kuvveti aktarma görevi yapar.

F) KASNAKLAR



a) Aynı yönde dönecek şekilde bağlanan kasnaklar

b) Zıt yönde dönecek şekilde bağlanan kasnaklar

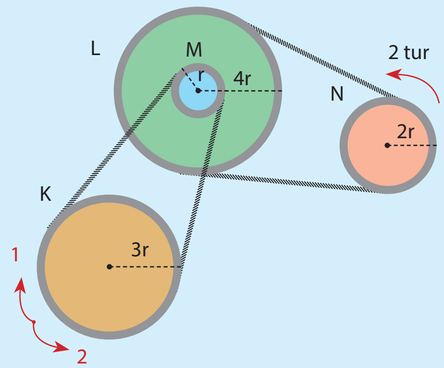
Şekil 1.100: Kasnakların bağlanması

Bir merkez etrafında dönebilen ve etrafına kayış sarılabilen disk şeklindeki basit makinelere **kasnak** denir. Farklı merkezli kasnaklar etraflarına sarılan kayış ile birbirine bağlanır. Dişliler gibi kasnaklar da birbiriyle uyum içinde çalışarak enerji aktarımını sağlayan basit makinelerdendir.

Bir kayışla düz bağlanan A ve B kasnaklarından A kasnağı 1 yönünde dönerse kayış tarafından bu hareket B kasnağına olduğu gibi iletilir ve B kasnağı da 1 yönünde döner (Şekil 1.100.a). Bir kayışla çapraz bağlanan A ve B kasnaklarından A kasnağı 1 yönünde dönerse kayış tarafından bu hareket B kasnağına ters döndürülerek iletilir ve B kasnağı 2 yönünde döner (Şekil 1.100.b). Her iki durumda da kayış üstünde her noktanın gerilme kuvveti aynı olur. Enerji korunumuna göre A kasnağı üzerinde yapılan iş, B kasnağına aktarılan enerjiye eşit olacağından

$F \cdot 2\pi \cdot r_A \cdot n_A = F \cdot 2\pi \cdot r_B \cdot n_B \Longrightarrow r_A \cdot n_A = r_B \cdot n_B$ bulunur. A ve B kasnaklarının tur sayıları yarıçaplarının büyüklüğü ile ters orantılıdır.

138. ÖRNEK



Eş merkezli 4r ve r yarıçaplı L ve M kasnaklarıyla 2r yarıçaplı N ve 3r yarıçaplı K kasnakları şekildeki gibi bağlanmıştır. Şekildeki sistemde N kasnağı ok yönünde 2 tur döndürülmektedir.

Buna göre K kasnağı hangi yönde kaç tur döner?

ÇÖZÜM

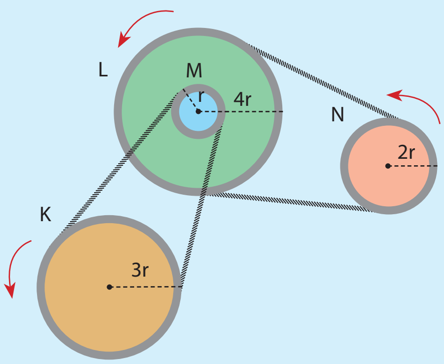
N kasnağı ok yönünde dönerse ona düz bağlanan L kasnağı da aynı yönde döner. M ve L kasnaklarının merkezleri aynı olduğundan dönme yönleri de aynıdır. M kasnağına düz bağlı olan K kasnağı da N kasnağıyla aynı yönde döner. L ve N kasnakları için

$r_N \cdot n_N = r_L \cdot n_L \Longrightarrow 2r \cdot 2 = 4r \cdot n_L \Longrightarrow n_L = 1$ tur olur.

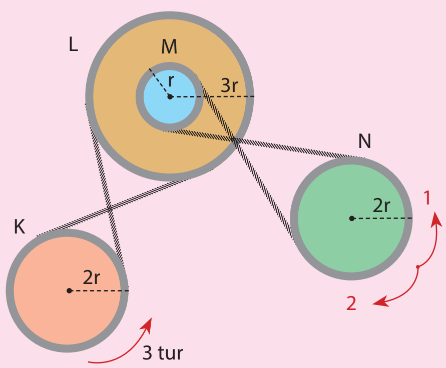
M ve L kasnaklarının merkezleri aynı olduğundan tur sayıları da aynıdır. Buna göre M kasnağı da 1 tur döner. K ve M kasnakları için

$r_M \cdot n_M = r_K \cdot n_K \Longrightarrow r \cdot 1 = 3r \cdot n_K \Longrightarrow n_K = \frac{1}{3}$ tur olur.

K kasnağı 2 yönünde $\frac{1}{3}$ tur döner.



106. ALIŞTIRMA



Eş merkezli 3r ve r yarıçaplı L ve M kasnakları ile 2r yarıçaplı K ve N kasnakları şekildeki gibi bağlanmıştır. Sistemde K kasnağı ok yönünde 3 tur döndürülmektedir.

Bu durumda N kasnağı hangi yönde kaç tur döner?

ÇÖZÜM

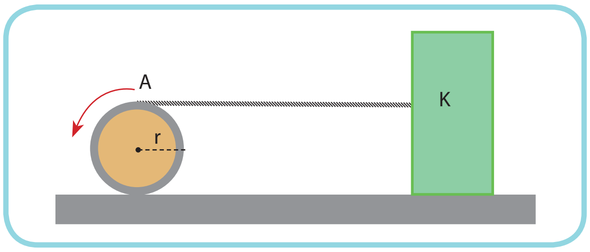
Dönerek ilerleyen r yarıçaplı A kasnağı kaymadan ok yönünde bir tur döndürüldüğünde çevresi ($Ç_A$) kadar yol alır. Bu sırada ipi de kendi üzerine çevresi kadar sararak ilerler. K cismi de A kasnağının hem ilerlemesi hem de ipi sarmasından dolayı çekilerek yer değiştirir. K cisminin yer değiştirmesinin büyüklüğü

$\Delta x = Ç_A + Ç_A$

$\Delta x = 2\pi \cdot r + 2\pi \cdot r$

$\Delta x = 4\pi \cdot r$ kadar olur.

K cismi, A kasnağının ilerleme yönü ile aynı yönde yer değiştirir (Şekil 1.101).



Şekil 1.101: Dönerek ilerleyen kasnağa bağlı cisim

2r ve r yarıçaplı, aynı merkezli A ve B kasnakları ok yönünde bir tur dönerek kaymadan ilerlerse A kasnağı çevresi kadar yol alırken B kasnağı çevresi kadar ipi kendi üzerine sarar. Bu durumda K cisminin yer değiştirmesinin büyüklüğü

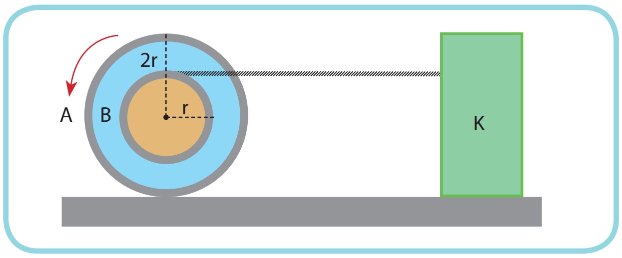
$\Delta x = Ç_A + Ç_B$

$\Delta x = 2\pi \cdot 2r + 2\pi \cdot r$

$\Delta x = 4\pi \cdot r + 2\pi \cdot r$

$\Delta x = 6\pi \cdot r$ olur.

K cismi, kasnaklar ile aynı yönde yer değiştirir (Şekil 1.102).



Şekil 1.102: Dönerek ilerlerken ip saran eş merkezli kasnaklara bağlı cisim

2r ve r yarıçaplı, aynı merkezli A ve B kasnakları ok yönünde bir tur dönerek ilerlerse A kasnağı çevresi kadar yol alırken B kasnağı çevresi kadar ipi serbest bırakır. Bu durumda K cisminin yer değiştirmesinin büyüklüğü

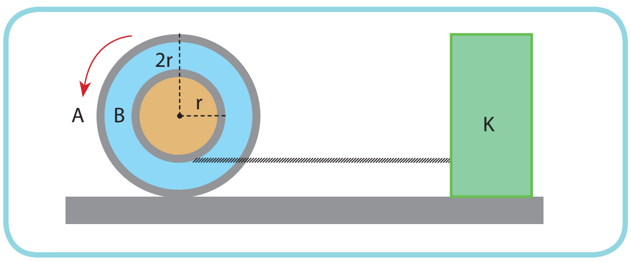
$\Delta x = Ç_A - Ç_B$

$\Delta x = 2\pi \cdot 2r - 2\pi \cdot r$

$\Delta x = 4\pi \cdot r - 2\pi \cdot r$

$\Delta x = 2\pi \cdot r$ kadar olur.

K cismi, kasnaklar ile aynı yönde yer değiştirir (Şekil 1.103).



Şekil 1.103: Dönerek ilerlerken ip salan eş merkezli kasnaklara bağlı cisim

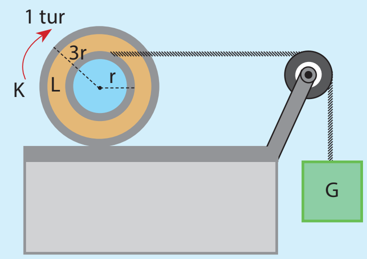
107. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta karşılaştığınız kasnakların kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

ÇÖZÜM

139. ÖRNEK

3r ve r yarıçaplı, aynı merkezli K ve L kasnakları ok yönünde 1 tur kaymadan dönerek ilerlemektedir.



Buna göre L kasnağına bağlı olan $\vec{G}$ ağırlığındaki cismin yer değiştirmesi kaç $\pi \cdot r$ olur?

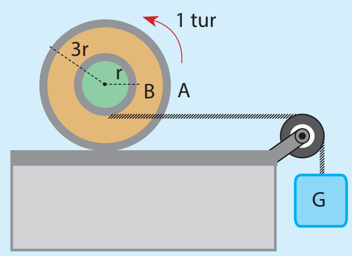
ÇÖZÜM

K kasnağı, ok yönünde 1 tur dönerse çevresi kadar yol alır. Aynı merkezli K ve L kasnakları, aynı yönde 1 tur döner ve L kasnağı kendi çevresi kadar ipi serbest bırakır. Düşey düzlemde asılı olan cisim

$\Delta h = Ç_K + Ç_L \Longrightarrow \Delta h = 2\pi \cdot 3r + 2\pi \cdot r \Longrightarrow \Delta h = 6\pi \cdot r + 2\pi \cdot r \Longrightarrow \Delta h = 8\pi \cdot r$ kadar aşağıya iner.

140. ÖRNEK

3r ve r yarıçaplı, aynı merkezli A ve B kasnakları ok yönünde 1 tur kaymadan dönerek ilerlemektedir.



İpler yeterince uzun olduğuna göre B kasnağına bağlı olan $\vec{G}$ ağırlığındaki cismin yer değiştirmesi kaç $\pi \cdot r$ olur?

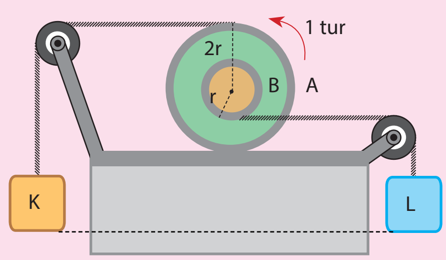
ÇÖZÜM

A kasnağı, ok yönünde 1 tur dönerse çevresi kadar yol alır. Aynı merkezli A ve B kasnakları, aynı yönde 1 tur döner ve B kasnağı kendi çevresi kadar ipi bırakır. Cisim,

$\Delta h = Ç_A - Ç_B \Longrightarrow \Delta h = 2\pi \cdot 3r - 2\pi \cdot r \Longrightarrow \Delta h = 6\pi \cdot r - 2\pi \cdot r \Longrightarrow \Delta h = 4\pi \cdot r$ kadar yukarıya çıkar.

108. ALIŞTIRMA

2r ve r yarıçaplı, aynı merkezli A ve B kasnakları şekildeki gibi ok yönünde 1 tur dönerek kaymadan ilerletilmektedir.

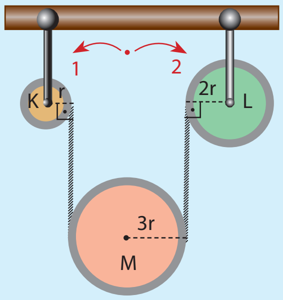


Buna göre K ve L cisimleri arasındaki düşey uzaklık kaç $\pi \cdot r$ olur?

ÇÖZÜM

141. ÖRNEK

Yarıçapları r ve 2r olan K ve L sabit makaraları ile 3r yarıçaplı M hareketli makarası şekildeki gibi bağlanmıştır.



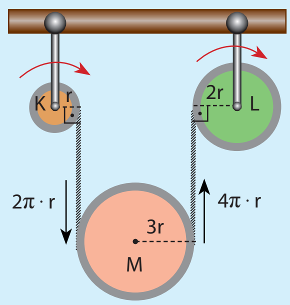
K ve L makaraları 2 yönünde 1 tur döndürüldüğüne göre M makarası

a) Hangi yönde kaç tur döner?

b) Ne kadar yer değiştirir?

ÇÖZÜM

a) K ve L makaraları 2 yönünde 1 tur döndüğünde K makarası çevresi ($2\pi \cdot r$) kadar ipi şekildeki gibi aşağıya salarken L makarası da çevresi ($4\pi \cdot r$) kadar ipi yukarı çeker.



K makarasının aşağıya saldığı ip M makarasını 1 yönünde dönmeye zorlar. L makarasının yukarıya çektiği ip de M makarasını 1 yönünde dönmeye zorlar. Bu nedenle M makarası 1 yönünde döner.

M makarasının kaç tur döneceğini bulmak için çevresindeki iplerin hareket yönüne dikkat edilir. İplerin makarayı döndürme etkisi aynı yönlü olduğundan iplerin yer değiştirme miktarları toplanarak M makarasının etrafından geçen ip uzunluğu bulunur. M makarası hareketli bir makara olduğundan etrafından geçen ip uzunluğunun yarısı kadar döner. Bu nedenle işlem sonucunda elde edilen değerin yarısı alınır. Bu değer M makarasının çevresine bölünerek tur sayısı

$$n = \frac{(4\pi \cdot r + 2\pi \cdot r) \cdot \frac{1}{2}}{6\pi \cdot r}$$

$n = \frac{3\pi \cdot r}{6\pi \cdot r} = \frac{1}{2}$ olarak bulunur.

b) K makarası ipi aşağıya doğru salarken L makarası yukarı doğru çekmektedir. L'nin çektiği ip miktarı K'nin saldığı ip miktarından büyük olduğu için M makarası yukarı doğru hareket eder.

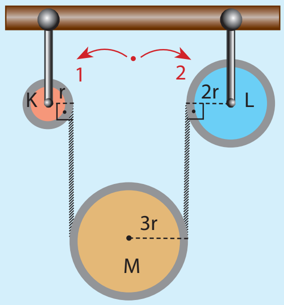
M makarasının yer değiştirme miktarı

$\Delta h = \frac{4\pi \cdot r - 2\pi \cdot r}{2} = \frac{2\pi \cdot r}{2} = \pi \cdot r$ olarak bulunur.

M makarası 1 yönünde $\frac{1}{2}$ tur dönerek yukarı yönde $\pi \cdot r$ kadar yer değiştirir.

142. ÖRNEK

Yarıçapları r ve 2r olan K ve L sabit makaraları ile 3r yarıçaplı M hareketli makarası şekildeki gibi bağlanmıştır.



Buna göre K makarası 2 yönünde, L makarası ise 1 yönünde 1 tur döndüğünde M makarası

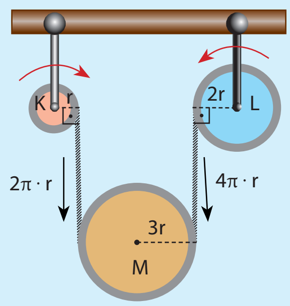
a) Hangi yönde kaç tur döner?

b) Ne kadar yer değiştirir?

ÇÖZÜM

a) K ve L makaraları verilen yönlerde 1 tur döndüğünde K makarası çevresi ($2\pi \cdot r$) kadar, L makarası da kendi çevresi ($4\pi \cdot r$) kadar ipi aşağıya salar. K makarasının aşağıya saldığı ip, M makarasını 1 yönünde dönmeye zorlar. L makarasının aşağıya saldığı ip ise M makarasını 2 yönünde dönmeye zorlar. L makarasının saldığı ip miktarı K'nin saldığı ip miktarından daha çok olduğu için M makarası 2 yönünde döner.

M makarasının kaç tur döneceğini bulmak için çevresindeki iplerin hareket yönüne dikkat edilir. Makarayı döndürme etkisi zıt yönlü olan iplerin yer değiştirme miktarlarının farkından M makarasının etrafından geçen ip uzunluğu bulunur. M makarası hareketli makara olduğundan etrafından geçen ip uzunluğunun yarısı kadar döner. Bu nedenle işlem sonucunda elde edilen değerin yarısı alınır. Bu değer M makarasının çevresine bölünerek tur sayısı



$$n = \frac{(4\pi \cdot r - 2\pi \cdot r) \cdot \frac{1}{2}}{6\pi \cdot r}$$

$$n = \frac{\pi \cdot r}{6\pi \cdot r}$$

$n = \frac{1}{6}$ olarak bulunur.

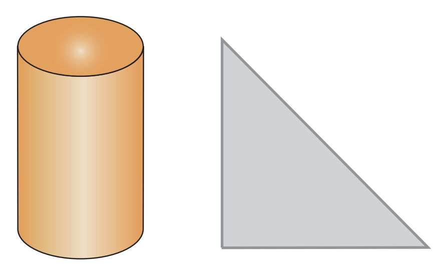
b) İki makara da ipi aşağıya saldığı için M makarasının yer değiştirme miktarı

$$\Delta h = \frac{4\pi \cdot r + 2\pi \cdot r}{2}$$

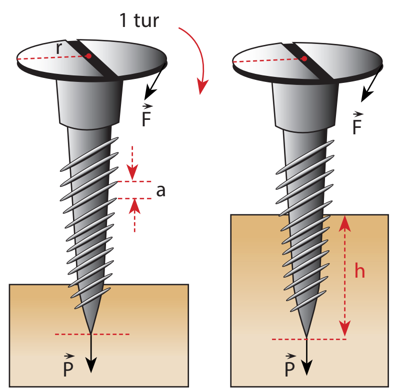
$\Delta h = \frac{6\pi \cdot r}{2} = 3\pi \cdot r$ olarak bulunur.

M makarası 2 yönünde $\frac{1}{6}$ tur atarak aşağı yönde $3\pi \cdot r$ kadar yer değiştirir.

G) VİDA



Şekil 1.104: Vidanın elde edilişi



Şekil 1.105: Vidanın bulunduğu yüzeyde ilerlemesi

Bir eğik düzlemin silindir ya da konik cisim üzerine sarılması ile elde edilen basit makineye **vida** denir (Şekil 1.104). Vidalar, günlük hayatta genellikle parçaları birbirine birleştirmek için kullanılır. Yer altı sularının yukarı çıkarılmasında, tarımda kullanılan biçerdöverlerde ve et kıyma makinesi gibi sistemlerde de vida şeklinde araçlar kullanılır. Vida üzerindeki dişler arası uzaklık bir **vida adımı** (a) olarak adlandırılır.

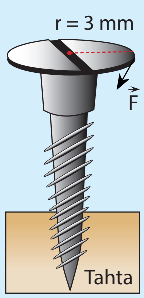
Vida bir tam tur döndürüldüğünde bulunduğu zeminde bir vida adımı kadar yer değiştirir (Şekil 1.105). n tur döndürülmüş olan vidanın yüzey içerisinde ilerleme miktarı **h = n · a** ile bulunur. Vidanın sadece döndürülmesi yüzey içine ilerlemesi için yeterli olmaz. Aynı zamanda vidanın ilerlemesi için vidaya bir baskı kuvveti ($\vec{P}$) uygulamak gerekir. Zemine uygulanan P büyüklüğündeki etki kuvveti kadar tepki kuvveti oluşur. Enerjinin korunumuna göre $\vec{F}$ kuvvetinin vidayı bir tur döndürmek için yaptığı iş, vidanın tepki kuvvetine karşı zeminde bir adım ilerlemesi için gerekli enerjiye eşit olacaktır. Buna göre

$F \cdot 2\pi \cdot r = P \cdot a$ olur. Kuvvetten kazanç sağlanabilmesi için vida başının yarıçapının büyük, vida adımının küçük olması gerekir.

143. ÖRNEK

Yarıçapı 3 mm olan bir vida F büyüklüğünde kuvvet ile 5 tur döndürüldüğünde tahta blok içerisinde 1 cm ilerlemektedir.

Buna göre tahtanın vidaya uyguladığı tepki kuvveti kaç F olur? (π = 3 alınız.)



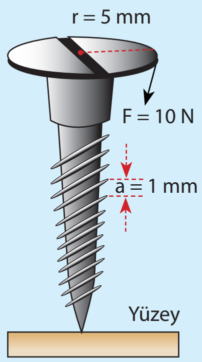
ÇÖZÜM

Vida 1 tam tur döndüğünde, bulunduğu yüzeyde bir vida adımı ilerler. Bu durumda vidanın yüzeyde ilerleme miktarı $h = n \cdot a$ ile bulunur. h = 1 cm = 10 mm olduğundan vida adımı

$h = n \cdot a \Longrightarrow 10 = 5 \cdot a \Longrightarrow a = 2$ mm olarak bulunur.

Vida için $F \cdot 2\pi \cdot r = P \cdot a \Longrightarrow F \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 = P \cdot 2 \Longrightarrow P = 9F$ olarak bulunur. Yüzeyin vidaya uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü, vidanın yüzeye uyguladığı P etki kuvvetinin büyüklüğüne eşittir.

144. ÖRNEK



Yarıçapı 5 mm olan vida 10 N büyüklüğündeki kuvvetle döndürüldüğünde vidanın ucu bulunduğu yüzeye 240 N büyüklüğünde bir etki yapmaktadır.

Vida adımı 1 mm olduğuna göre vidanın verimi % kaçtır? ($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

Vida bir tam tur döndüğünde, bulunduğu yüzeyde bir vida adımı ilerler. Buna göre

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan enerji}}{\text{Verilen enerji}}$$

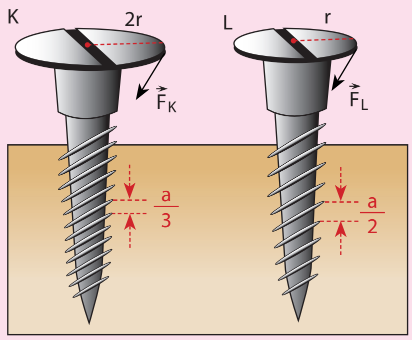
$$\text{Verim} = \frac{P \cdot a}{F \cdot 2\pi \cdot r}$$

$$\text{Verim} = \frac{240 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = \frac{240}{300}$$

$\text{Verim} = \frac{4}{5}$ olur. Bu durumda vidanın % verimi

$\%\,\text{Verim} = 100\frac{4}{5} = 80 \implies$ %80 olur.

109. ALIŞTIRMA



Vida adımları $\frac{a}{3}$ ve $\frac{a}{2}$ olan K ve L vidaları sırayla F ve 3F büyüklüğünde kuvvetlerle ancak döndürülebilmektedir. K vidası 2 tur döndürüldüğünde h_1, L vidası 4 tur döndürüldüğünde h_2 kadar yüzeyde ilerlemektedir.

Buna göre $\frac{h_1}{h_2}$ oranı nedir?

ÇÖZÜM

110. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta karşılaştığınız vidaların kullanıldığı sistem ve yerlere örnekler vererek işlevlerini açıklayınız.

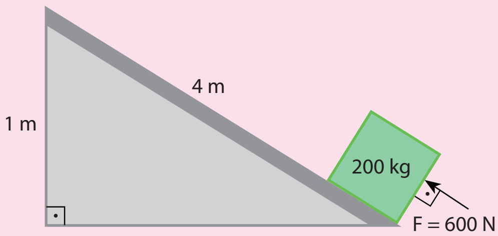
ÇÖZÜM

111. ALIŞTIRMA

Basit makine sistemlerinde yükler, F büyüklüğündeki kuvvetlerle ve sabit hızlarla hareket ettirilmektedir.

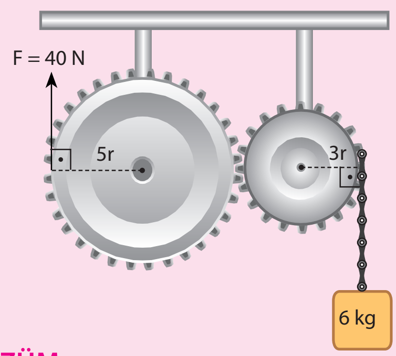
Buna göre sistemlerin verimlerini hesaplayınız. (g = 10 N/kg alınız.)

a)



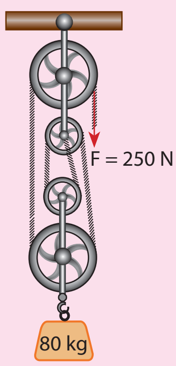
ÇÖZÜM

b)



ÇÖZÜM

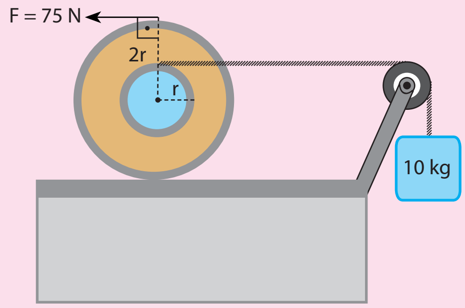
c)



(Esnemeyen ip kullanılmış ve makara ağırlıkları ihmal edilmiştir.)

ÇÖZÜM

d)



(Esnemeyen ip kullanılmış ve makara kaymadan ilerlemektedir.)

ÇÖZÜM

PROJE

AMAÇ : Hayatı kolaylaştırmak amacıyla güvenli bir basit makine tasarlamak

BECERİLER : Araştırma yapma, problem çözme, yaratıcı düşünme, iş birliği, sunum

SÜRE : 1 ay

YÖNERGE : Günlük hayatta bir işin daha kolay yapılabilmesi için bileşik bir basit makine sistemi tasarlayınız. Proje çalışmanız için öncelikle dörder kişilik gruplar oluşturunuz. Grup arkadaşlarınızla iş bölümü yapıp bir çalışma planı hazırlayınız. Hazırlayacağınız özgün tasarımla patent alabileceğinizi ve proje yarışmalarına katılabileceğinizi unutmayınız.

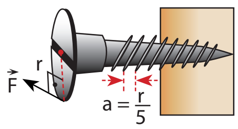
Projenizi hazırlarken aşağıda belirtilen aşamalara dikkat ediniz:

1. Basit makinelerin kullanıldığı alanlarda iş sağlığı ve güvenliğini arttırıcı tedbirlere yönelik araştırmalar yapınız. Tasarım yaparken almanız gereken güvenlik önlemlerini belirleyip not ediniz.
2. Yapacağınız basit makine, aynı işi daha küçük kuvvet uygulanarak yapacak şekilde tasarlanmalıdır.
3. Projenizi hazırlarken Genel Ağ ve bilimsel yayınlardan konu hakkında bilgi toplayınız. Farklı bileşik makine örneklerini araştırınız.
4. Yapmayı düşündüğünüz modelin bir taslağını çiziniz.
5. Kullanacağınız araç gerecin listesini yapınız ve bunları edininiz. Araç gereçlerinizi mümkün olduğunca atık malzemelerden seçmeye özen gösteriniz.
6. Bileşik makinenizin hangi basit makinelerden oluşacağını ve bu basit makinelerin işlevlerini belirtiniz.
7. Modelinizi oluşturunuz.
8. Modelinizin amacınıza uygun olup olmadığını test ediniz.
9. Modelinizin üzerinde yapmanız gereken değişiklikler varsa bunları belirleyip not ediniz ve gerekli değişiklikleri yapınız.
10. Modelinizi deneyerek sonuçları gözlemleyiniz ve not ediniz.
11. Modelinizi arkadaşlarınızın modelleriyle karşılaştırarak benzer ve farklı yönlerini, üstün ve zayıf yanlarını belirleyiniz.
12. Bilişim teknolojilerini kullanarak hazırlayacağınız bir sunum ile makinenizin yapım aşamalarını ve çalışma prensibini sınıf arkadaşlarınızla paylaşınız.

DEĞERLENDİRME: Ders öğretmeni tarafından geliştirilecek olan dereceli puanlama anahtarı ile değerlendirilecektir.

10. BÖLÜM SONU SORULARI

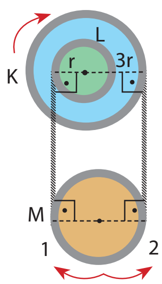
1. Vida adımı $\frac{r}{5}$ ve yarıçapı r olan vida, F büyüklüğünde kuvvet ile sıkıştırılmaktadır.



Buna göre yüzeyin vidaya uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç F olur? ($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

2. K ve L kasnakları sırasıyla 3r ve r yarıçaplıdır.



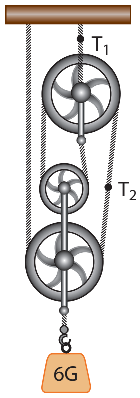
K kasnağı 1 yönünde 2 tur döndüğünde

a) M kasnağı hangi yönde kaç tur döner?

b) M kasnağı kaç $\pi \cdot r$ yer değiştirir?

ÇÖZÜM

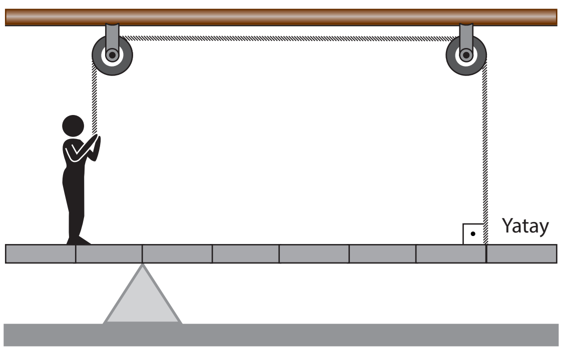
3. Ağırlıkları G büyüklüğünde olan makaralar ve ağırlığının büyüklüğü 6G olan yük şekildeki gibi iplerle bağlanarak dengelenmiştir.



Buna göre $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ ip gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

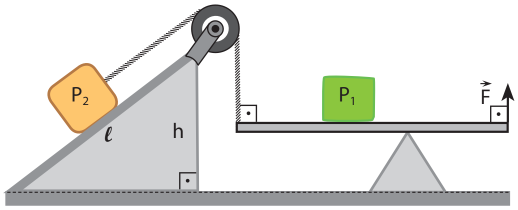
4. Ağırlığının büyüklüğü 2G olan çocuk, bir destek üzerinde duran ağırlığının büyüklüğü 5G olan eşit bölmeli homojen kalas üzerinde ipi şekildeki gibi tutarak dengede durmaktadır.



Çocuk, tuttuğu ipe F büyüklüğünde kuvvet uyguladığına göre F kaç G büyüklüğünde olur?

ÇÖZÜM

5. $\vec{P}_1$ ve $\vec{P}_2$ yükleri, eğik düzlem ve kaldıraç kullanılarak $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmiştir. Eğik düzlemin yüksekliği h ve boyu ℓ'dir.

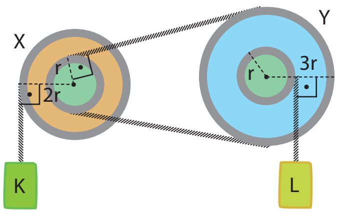


$\vec{P}_2$ yükü azaltıldığında dengenin bozulmaması için h, ℓ, $\vec{F}$ ve $\vec{P}_1$ değerlerinden hangilerinin tek başına artırılıp azaltılması gerektiğini aşağıdaki tabloda uygun yerlere X işareti koyarak gösteriniz.

ÇÖZÜM

Değerler	Arttırılmalı	Azaltılmalı
h		
ℓ		
$\vec{F}$		
$\vec{P}_1$		

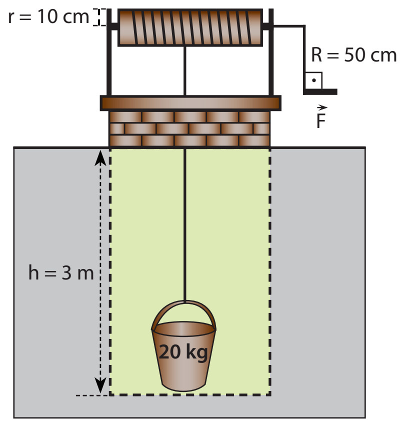
6. X ve Y kasnakları sırasıyla 2r ve 3r yarıçaplı olup r yarıçaplı kasnaklar ile ortak eksenlidir. K ve L cisimleri şekildeki gibi dengededir.



Buna göre K ve L cisimlerinin kütleleri $\frac{m_K}{m_L}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

7. Şekildeki çıkrığa $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak içinde 20 kg kütleli su bulunan kova, 3 m derinliğindeki kuyudan yukarı çıkarılmaktadır.



Çıkrığın silindir yarıçapı 10 cm, çıkrık kolu 50 cm uzunluğunda olduğuna göre

a) Sürtünmeler ihmal edildiğinde çıkrık koluna uygulanan kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

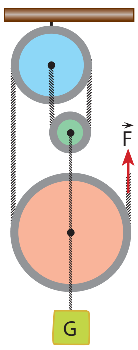
b) Su dolu kovanın kuyudan çıkarılması için çıkrık kolunun kaç tur döndürülmesi gerekir?

c) Su dolu kova 50 N büyüklüğünde kuvvetle ancak dengelenebilseydi çıkrığın verimi ne olur?

($g = 10\ m/s^2$, $\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

8.



Her birinin ağırlığının büyüklüğü G olan makaralarla ve ağırlığının büyüklüğü G olan yükle kurulan sistem $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmiştir.

Buna göre $\vec{F}$ kuvvetinin uygulandığı ip h kadar çekilirse yük kaç h yükselir?

ÇÖZÜM

1. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI

A **Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.**

1. Sabit bir net kuvvetin etkisindeki cismin ivmesi, kütlesi arttıkça ....

2. Bir cismin herhangi bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketine .... denir.

3. Hava direncinin ihmal edildiği durumlarda serbest düşen bir cismin ivmesi .... eşittir.

4. Cismin çizgisel momentumundaki değişim, cisme uygulanan......................... kadardır.

5. Bir kuvvetin uzantısı dönme noktasından geçerse bu noktaya göre .... sıfırdır.

6. Kuvvetin cisimler üzerindeki döndürme etkisine .... denir.

7. Bir cismin tüm kütlesinin toplandığı kabul edilen noktaya cismin .... denir.

8. Kuvvet ya da yol kazancı elde etmek için kullanılan sistemlere .... denir.

9. Basit makinelerde .... kazanç yoktur.

10. Hareket hâlindeki bir otomobilin şoförü frene bastığında otomobile etki eden kuvvet ile otomobilin .... aynı yönlüdür.

11. Hava direncinin olduğu ortamda serbest bırakılan cisme etki eden hava direnç kuvveti, cisim .... ulaşıncaya kadar artar.

12. Piezoelektrik malzeme ile organların hareketini elektrik enerjisine çevirip bunu depolayabilen ve saç telinin %1'i kadar büyüklükteki elastik kalp pilini geliştiren önemli bilim insanımız .... dir.

B **Aşağıdaki açık uçlu soruların cevaplarını ilgili alanlara yazınız.**

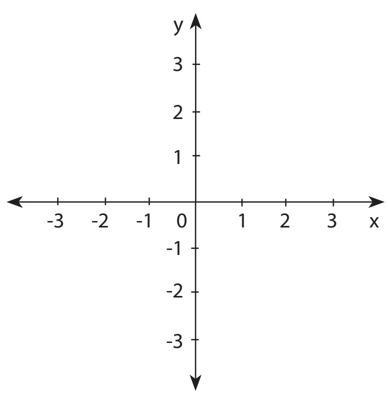
13. Batıya doğru 20 m/s'lik sabit hızla hareket eden araç, bir süre sonra kuzeye doğru yön değiştirerek 10 m/s'lik sabit hızla hareketine devam etmektedir. Bu süre içerisinde aracın hızındaki değişim $\Delta\vec{v}$ olmaktadır.

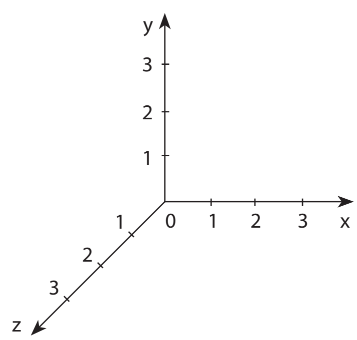
Buna göre aracın hızındaki değişim kaç m/s olur?

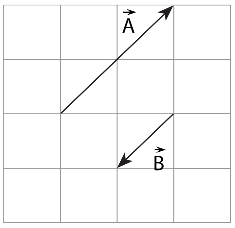
....

....

14. **İki ve üç boyutlu koordinat sisteminde koordinatları $\vec{K}$ (-3,2), $\vec{L}$ (3,-2) ve $\vec{M}$ (2,3,1) olan vektörleri çiziniz.**





15. 

Aynı düzlemde bulunan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri verilmiştir. $\vec{X}$ ve $\vec{Y}$ vektörleri de $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri kullanılarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$\vec{X} = \vec{A} + \vec{B}$ $\qquad$ $\vec{Y} = \vec{A} + 3\vec{B}$

Buna göre aşağıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

I. $\vec{X}$ ve $\vec{Y}$ vektörleri aynı büyüklüktedir.
II. $\vec{X}$ ve $\vec{Y}$ zıt vektörlerdir.
III. $\vec{X}$ ve $\vec{Y}$ vektörlerinin doğrultuları aynıdır.
IV. $\vec{X}$ ve $\vec{Y}$ eşit vektörlerdir.

....

....

16. Bir otobüs 4 m/s büyüklüğünde hızla doğuya doğru hareket etmektedir. Otobüsün arka kısmında oturan bir yolcu, otobüsün hareketiyle aynı yönde ve otobüse göre 1 m/s büyüklüğünde sabit hızla yürümektedir.

Bu yolcu araçla aynı yönde yere göre 2 m/s büyüklüğünde sabit hızla hareket eden bisikletliyi hangi yönde ve hangi hızla hareket ederken görür?

....

....

17. Akıntı hızının büyüklüğü sabit ve 2 m/s büyüklüğünde olan bir ırmakta akıntıya paralel ve zıt yönde hareket ettiği görülen motorun 1 200 m'lik yolu 10 dakikada alması için suya göre hızının büyüklüğü kaç m/s olmalıdır?

....

....

18. Kütlesi 45 kg olan bir cisim, iple düşey aşağı indirilmek istenmektedir.

İp en fazla 270 N büyüklüğündeki gerilme kuvvetine dayanabildiğine göre cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur? (g = 10 m/s² alınız.)

....

....

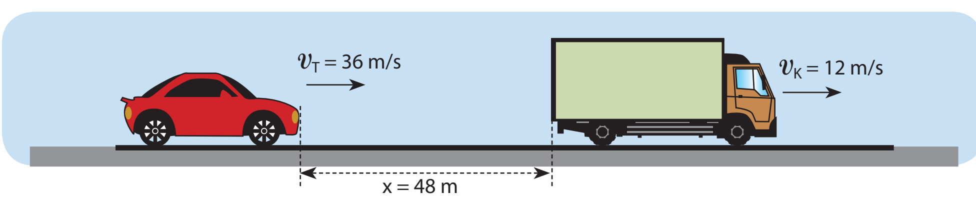
19. Doğrusal bir yolda $\vec{v}_0$ hızıyla harekete başlayan cisim, sabit ivmeyle yavaşlayıp 9 s sonra durmuştur.

Cisim hareketinin son 3 saniyesinde 45 m yer değiştirdiğine göre cismin yavaşlama ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur? (g = 10 m/s² alınız.)

....

....

20. Bir kamyon, doğrusal yolda 12 m/s büyüklüğündeki sabit hızla hareket etmektedir. Aynı yolda 36 m/s büyüklüğünde hızla hareket eden otomobilin sürücüsü, 48 m önünde giden kamyonu fark etmiş ve frene basmıştır.



Otomobilin kamyona çarpmaması için yavaşlama ivmesinin büyüklüğü en az kaç m/s² olmalıdır?

....

....

21. Denizcilikte kullanılan standart yük gemileri (tankerler) yaklaşık 5 m/s büyüklüğünde hızla yol almaktadır. Gemiler, motorları durdurulduktan sonra tam yüklü iken yaklaşık 9,5 km; boş iken yaklaşık 3,2 km kadar yol alarak durabilir. Bu nedenle geminin pervanesi tersine döndürülerek hareket yönüne ters bir itme kuvveti oluşturur. Bu hareketle geminin daha kısa mesafede durması amaçlanır. Gemicilikte bu olaya **tornistan** adı verilir.

Limana giriş yapmak isteyen aynı hıza sahip tankerlerden tam yüklü olanın boş olana göre durması daha uzun mesafede ve sürede gerçekleşir. Yüklü tankeri daha kısa mesafede durdurmak için daha çok makine gücü veya dış kuvvet gerekir. Bu gibi durumlarda uygun bir hızdayken demir atılarak, demir ve zemin arasında oluşan sürtünme kuvvetinden yararlanılır. Gerekli ise römorkör (çekici) kullanılarak bir dış kuvvet ile limana güvenli bir yanaşma sağlanır. Römorkör, tankerin hareketine ters yönde çekme kuvveti uygulayarak tankerin hızının azalmasını sağlar.

Bütün özellikleri aynı olan X ve Y tankerlerinden X tankeri tam yüklü, Y tankeri ise boştur. Tankerler eşit büyüklükte hızla limana yaklaşmaktadır.

Buna göre

a) Tornistan, sürtünme kuvveti veya tankerin hareketine zıt yönlü dış kuvvetler tankerlerin çizgisel momentumunu ne şekilde etkiler?

....

....

....

b) Tankerlerin motorları durdurulduktan sonra çizgisel momentumları nasıl değişir?

....

....

....

....

c) Tankerleri aynı sürede durdurmak için hangisine daha büyük bir itme uygulanmalıdır?

....

....

....

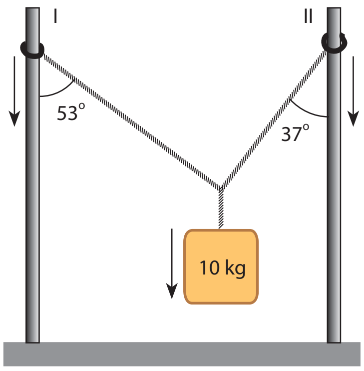
ç) X ve Y tankerleri motorlarını durdurmuş ve limana yanaşmak için römorkör isteğinde bulunmuştur. Tankerler limandan eşit uzaklıkta iken X tankeri R_X römorkörünün, Y tankeri ise R_Y römorkörünün eşliğinde limana yanaştırılmıştır. Diğer dış kuvvetlerin aynı olduğu kabul edilirse tankerler durana kadar römorkörlerin yaptığı işleri karşılaştırınız.

....

....

....

....

22. 

Kütlesi 10 kg olan cisim, yatay düzleme sabitlenmiş birbirine paralel direklere ipler ve halkalar yardımıyla asılmıştır. Cisim serbest bırakıldığında aşağıya doğru sabit hızla kaymaktadır.

Buna göre cisim aşağı doğru kayarken I ve II direkleri ile halkalar arasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin büyüklükleri sırayla F_I ve F_{II} ise $\frac{F_I}{F_{II}}$ oranı kaçtır? (g = 10 m/s^2 alınız.)

....

....

23. Atletizm yarışlarından olan uzun atlama, belli bir mesafe sonundaki atlama çizgisine kadar hızlanarak bu çizgiyi geçmeden atlayış yapma esasına dayanan bir spordur. Uzun atlama yapan bir sporcunun atlama anındaki hızının düşey bileşenin büyüklüğü 4,5 m/s'dir. Yatay bileşeni ise atlama çizgisine ulaştığı andaki hızının büyüklüğünden 1 m/s daha azdır. Sporcu atladığı noktadan 6,3 m uzağa düşmektedir.

Buna göre atlama anından sonraki sürtünmeler ihmal edilirse sporcunun atlama çizgisine ulaştığındaki hızının büyüklüğü kaç m/s olur? (g = 10 m/s^2 alınız.)

....

....

....

24. Aşağıda verilen cisimlerin hangi basit makine sınıfına girdiğini gerekçesini belirterek yazınız.


Anahtar


Çırpıcı

....

....


Spatula

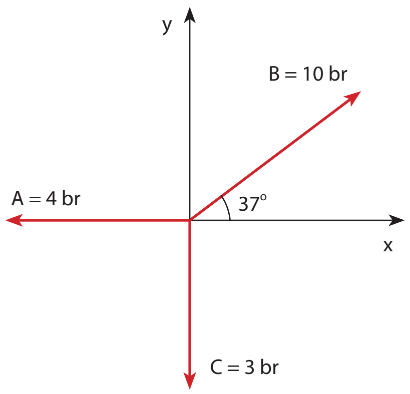

Tornavida

....

....

C **Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları çözünüz.**

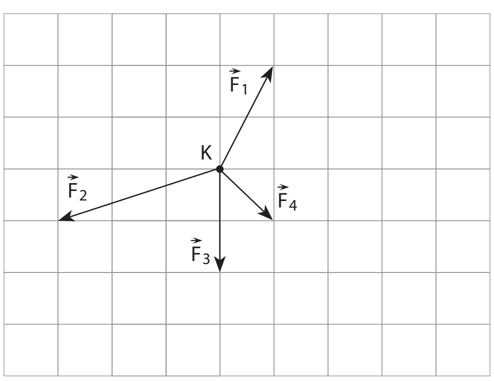
25. $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin iki boyutlu kartezyen koordinat sistemindeki yönleri ve büyüklükleri verilmiştir.



Buna göre vektörlerin bileşkesinin büyüklüğü kaç birimdir? (sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

A) 0 **B)** 5 **C)** 10 **D)** 15 **E)** 20

26. Noktasal K cismi aynı düzlemde bulunan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetleri etkisinde hareket etmektedir.



Buna göre

I. $\vec{F}_4$ kuvveti kaldırılırsa cisme etki eden bileşke kuvvetin yönü değişmez.

II. $\vec{F}_2$ kuvveti kaldırılırsa cisme etki eden bileşke kuvvetin yönü değişir.

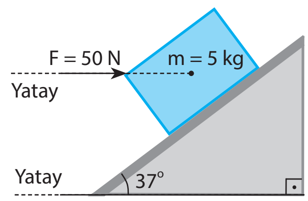
III. $\vec{F}_1$ kuvveti iki katına çıkarılırsa K cismi sabit hızlı hareket yapar.

yargılarından hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve III

D) II ve III **E)** I, II ve III

27. Eğik düzlem üzerindeki 5 kg kütleli cisim, eğik düzlemin tabanına paralel doğrultuda 50 N büyüklüğünde kuvvet etkisiyle hareket etmektedir.



Eğik düzlem ile cisim arasındaki sürtünme katsayısı 0,1 olduğuna göre cismin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s² olur?

(sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s² alınız.)

A) $\frac{3}{5}$ **B)** $\frac{2}{5}$ **C)** $\frac{5}{2}$ **D)** $\frac{5}{3}$ **E)** 2

28. Belli bir yükseklikten serbest bırakılan cisim, bir süre sonra limit hıza ulaşarak yere çarpmaktadır.

Buna göre cismin limit hıza ulaşma süresinin artması için

I. Cismin kütlesi

II. Ortamın yoğunluğu

III. Cismin hareket doğrultusuna dik en büyük kesit alanı

niceliklerinden hangisinin artması gerekir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III

D) II ve III **E)** I, II ve III

29. Aynı doğrusal yolda hareket eden X, Y ve Z araçlarından X batıya doğru gitmektedir. X aracındaki gözlemci, Y aracının batıya; Z aracının ise doğuya doğru hareket ettiğini görmektedir.

Buna göre

I. Y'nin hızının büyüklüğü X'ten fazladır.

II. X'nin hızının büyüklüğü Z'den fazladır.

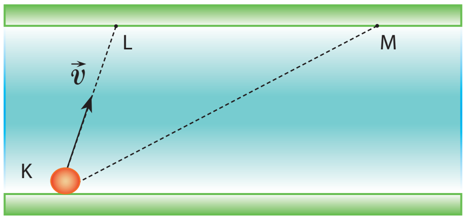
III. Y'nin hızının büyüklüğü Z'ye eşittir.

yargılarından hangileri <u>kesinlikle</u> doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III

D) I ve II **E)** I, II ve III

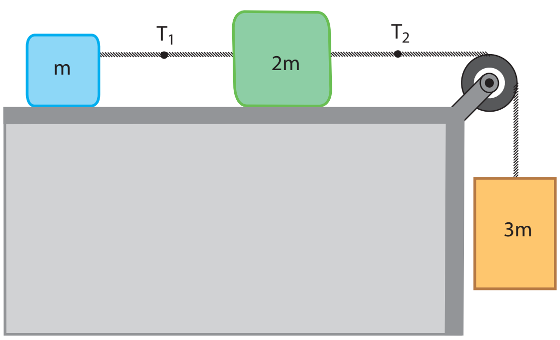
30. Suya göre hızı $\vec{v}$ olan motor, K noktasından L noktasına doğru harekete geçip t sürede M noktasından karşı kıyıya ulaşmaktadır.



Buna göre $\vec{v}$ hızının büyüklüğü arttırılırsa motorun hareket süresi t ve karşı kıyıya ulaştığı noktanın L noktasına uzaklığı nasıl değişir?

	t	LM
A)	Değişmez	Değişmez
B)	Artar	Artar
C)	Azalır	Azalır
D)	Azalır	Artar
E)	Artar	Azalır

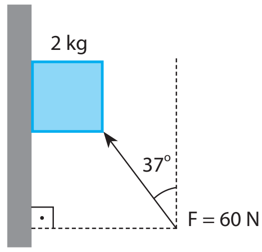
31. Esnemeyen ipler ve kütleleri m, 2m ve 3m olan cisimler yardımıyla oluşturulan sistemde sürtünmeler ihmal edilmiştir. Cisimler serbest bırakıldığında iplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri T_1 ve T_2 olmaktadır.



Buna göre iplerin gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır? (g = 10 m/s^2 alınız.)

A) $\frac{1}{3}$ **B)** $\frac{1}{2}$ **C)** 1 **D)** $\frac{3}{2}$ **E)** 2

32. Kütlesi 2 kg olan cisme 60 N büyüklüğünde kuvvet şekildeki gibi uygulanmaktadır.



Duvar ile cisim arasındaki sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre cismin ivmesinin büyüklüğü ve yönü aşağıdakilerden hangisidir?
(sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve g = 10 m/s^2 alınız.)

A) Aşağı yönde 5 m/s^2

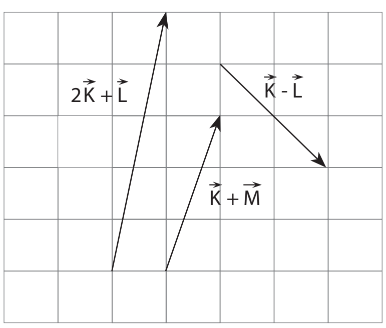
B) Yukarı yönde 5 m/s^2

C) Aşağı yönde 19 m/s^2

D) Yukarı yönde 19 m/s^2

E) Sıfır

33. Birimkarelere ayrılmış düzlemde $2\vec{K}+\vec{L}$, $\vec{K}-\vec{L}$ ve $\vec{K}+\vec{M}$ vektörleri verilmiştir.



Buna göre $\vec{M}$ vektörünün büyüklüğü kaç birimdir?

A) 5 **B)** 4 **C)** 3 **D)** 2 **E)** 1

34. Asansörün içinde bir cismin farklı anlardaki ağırlığı ölçülmüştür. Asansör durgunken yapılan ölçüm ile hareketli iken yapılan ölçüm karşılaştırıldığında, durgunken ölçülen ağırlığın daha fazla olduğu görülmüştür.

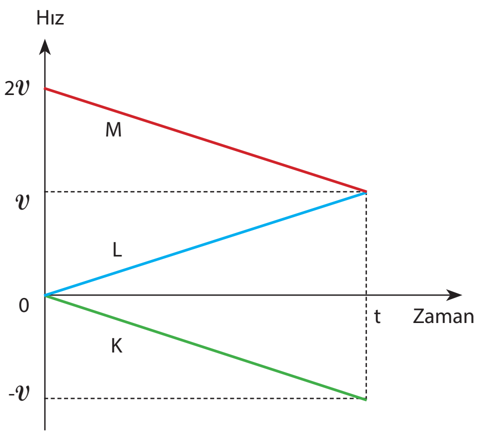
Buna göre

I. Asansör yukarıya doğru hızlanmaktadır.
II. Asansör yukarıya doğru yavaşlamaktadır.
III. Asansör aşağıya doğru yavaşlamaktadır.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

35. t = 0 anında yan yana olan K, L ve M araçlarına ait hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.



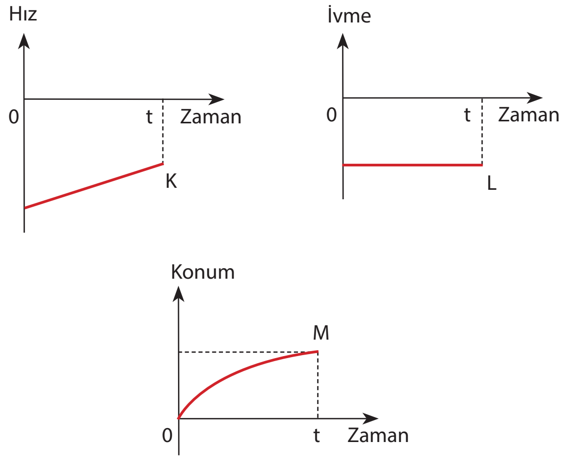
Araçlar aynı doğrultuda hareket ettiğine göre

I. Araçların ivmelerinin büyüklükleri eşittir.
II. t sürede L ve M araçlarının yer değiştirmeleri eşittir.
III. t anında K ile L arasındaki uzaklık, L ile M arasındaki uzaklığa eşittir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II
D) I ve III **E)** I, II ve III

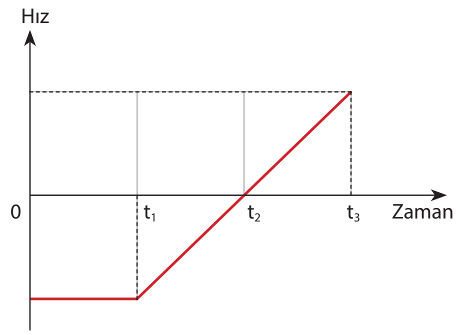
36. Doğrusal yolda hareket eden araçlardan K aracının hız-zaman, L aracının ivme-zaman ve M aracının konum-zaman grafikleri verilmiştir.



Buna göre araçlardan hangileri hızlanmış olabilir?

A) Yalnız K **B)** Yalnız L **C)** K ve L
D) K ve M **E)** K, L ve M

37. Doğrusal bir yolda hareket eden bir aracın hız-zaman grafiği verilmiştir.



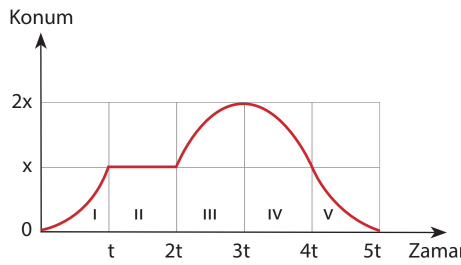
Buna göre

I. Araç t_2 anında yön değiştirmiştir.
II. 0-t_1 zaman aralığında aracın sabit bir ivmesi vardır.
III. Araç t_1-t_3 zaman aralığında sürekli hızlanmıştır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) II ve III **E)** I, II ve III

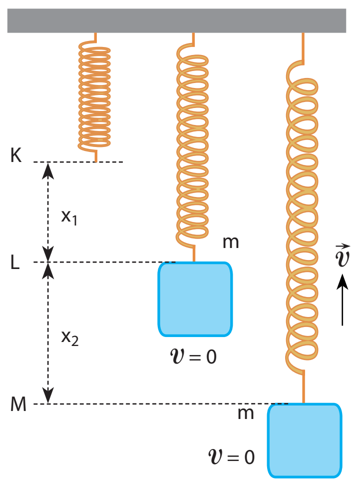
38. Doğrusal yolda hareket eden bir cismin konum-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre hangi aralıklarda cismin hız vektörüyle ivme vektörü ters yönlüdür?

A) I ve III **B)** I ve IV **C)** II ve III **D)** III ve V **E)** IV ve V

39. Serbest hâlde iken K seviyesinde olan ve ağırlığı ihmal edilen yayın ucuna m kütleli bir cisim asılıp serbest bırakıldığında yay L seviyesinde dengede kalmaktadır.



Yay, M seviyesine kadar çekilip bırakıldığında L seviyesinden $\vec{v}$ hızıyla geçtiğine göre

I. $m \cdot g = k \cdot x_1$

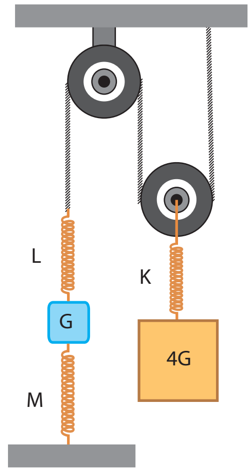
II. $\frac{1}{2} k (x_1^2 + x_2^2) = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} k \cdot x_1^2 + m \cdot g \cdot x_2$

III. $\frac{1}{2} k \cdot x_2^2 = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

eşitliklerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

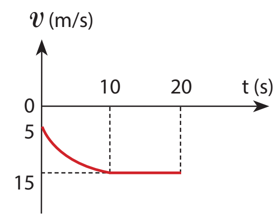
40. Ağırlıklarının büyüklüğü G ve 4G olan cisimler özdeş K, L ve M yayları ile şekildeki gibi dengelenmiştir.



Buna göre yaylarda depolanan esneklik potansiyel enerjiler E_K, E_L ve E_M arasında nasıl bir ilişki vardır? (Makara ve yay ağırlıkları ihmal edilecektir.)

A) $E_K > E_L > E_M$ **B)** $E_K = E_L > E_M$ **C)** $E_M > E_K = E_L$ **D)** $E_M > E_L > E_K$ **E)** $E_K = E_L = E_M$

41. Hava ortamındaki yüksek bir yerden düşey doğrultuda aşağı yönde atılan cismin hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

I. Cisim 15 m/s büyüklüğünde hızla atılmıştır.

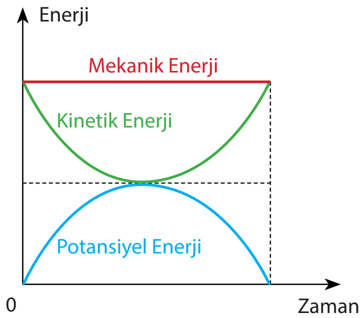
II. Cisim 0-10 s aralığında sabit ivmeli hareket yapmıştır.

III. 10 - 20 s arasında cisme etki eden net kuvvet sıfırdır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

42. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda bir cisme ait potansiyel enerji, kinetik enerji ve mekanik enerjinin zamanla değişim grafikleri şekildeki gibidir.



Buna göre cismin yaptığı hareket hangisidir?

A) Serbest düşme hareketi

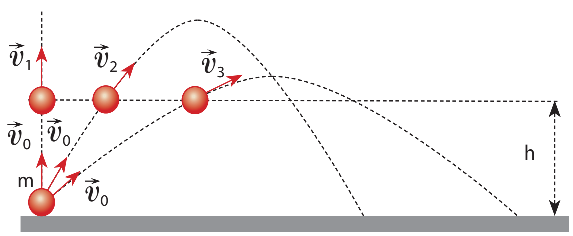
B) Yatay atış hareketi

C) Eğik atış hareketi

D) Düzgün hızlanan hareket

E) Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi

43. Hava sürtünmesinin önemsenmediği bir ortamda şekildeki gibi aynı yerden υ_0 büyüklüğündeki hızla atılan m kütleli cisimlerin yerden h kadar yükseklikteki hızlarının büyüklükleri υ_1, υ_2 ve υ_3 olmaktadır.

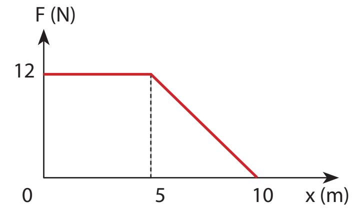


Buna göre cisimlerin hızları arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

A) $\upsilon_1 > \upsilon_2 > \upsilon_3$ **B)** $\upsilon_1 > \upsilon_2 = \upsilon_3$ **C)** $\upsilon_1 = \upsilon_2 > \upsilon_3$

D) $\upsilon_2 = \upsilon_3 > \upsilon_1$ **E)** $\upsilon_1 = \upsilon_2 = \upsilon_3$

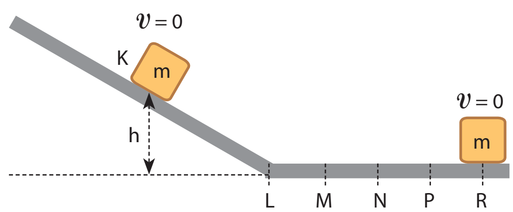
44. Doğrusal bir yolda hareket eden cisme etki eden net kuvvetin yola bağlı değişim grafiği verilmiştir.



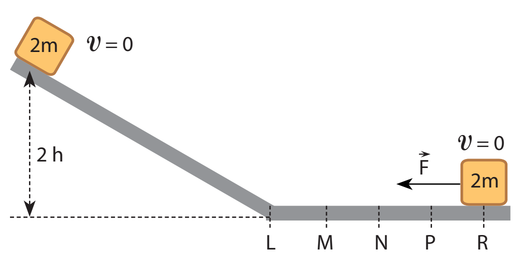
Buna göre cismin 0-10 metre arasındaki kinetik enerji değişimi kaç joule olur?

A) 30 **B)** 60 **C)** 90 **D)** 120 **E)** 150

45. Şekil I'de m kütleli bir cisim, sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlemin K noktasından serbest bırakıldığında sabit sürtünmeli L-R yolunun R noktasında durmaktadır. Şekil II'de 2m kütleli bir cisim, aynı sistemin R noktasından $\vec{F}$ kuvveti ile L noktasına kadar çekilerek bırakıldığında 2h yüksekliğine kadar çıkabilmektedir.



Şekil I

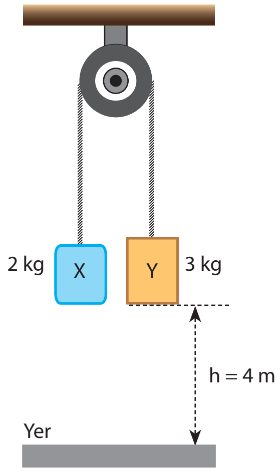


Şekil II

Buna göre $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş kaç m · g · h olur?

A) 1 **B)** 2 **C)** 4 **D)** 5 **E)** 6

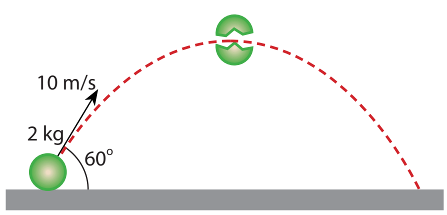
46. Şekildeki sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde 2 kg kütleli X cismi ile 3 kg kütleli Y cismi yerden 4 m yüksekte yan yana tutulmaktadır.



Buna göre cisimler serbest bırakılırsa Y cisminin yere çarpma hızının büyüklüğü kaç m/s olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

A) 1,5 **B)** 2 **C)** $5\sqrt{2}$ **D)** 4 **E)** $4\sqrt{5}$

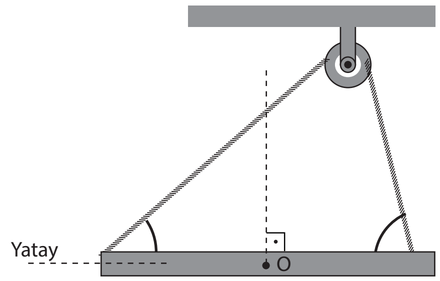
47. Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda yatayla 60° açı yapacak şekilde 10 m/s büyüklüğünde hızla atılan 2 kg kütleli cisim yörüngesinin tepe noktasında iç patlama sonucunda eşit iki parçaya ayrılmıştır.



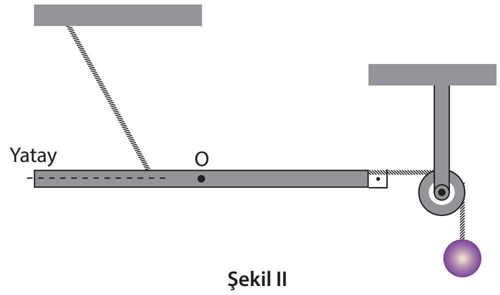
Parçalardan biri serbest düşme hareketi yaptığına göre diğer parçanın hızının büyüklüğü kaç m/s olur? ($\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ alınız.)

A) 10 **B)** $10\sqrt{2}$ **C)** 20 **D)** $20\sqrt{2}$ **E)** 5

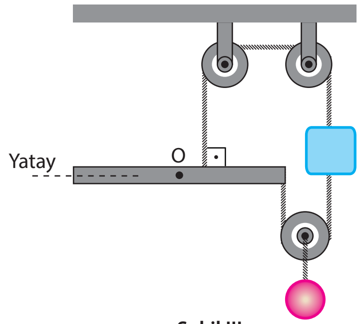
48. Şekillerdeki türdeş çubukların ağırlık merkezleri O noktasıdır.



Şekil I



Şekil II



Şekil III

Buna göre hangi çubuklar gösterilen şekliyle dengede kalabilir?

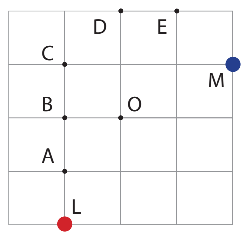
A) Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

49. Bir cisim, hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden yüksek bir noktadan düşey aşağı doğru 30 m/s büyüklüğünde hızla atıldığında yere 50 m/s büyüklüğünde hızla çarpmaktadır.

Buna göre cisim aynı yükseklikten serbest düşmeye bırakıldıktan kaç s sonra yere çarpar? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)

A) 2 **B)** 3 **C)** 4 **D)** 5 **E)** 8

50. K, L ve M cisimlerinin kütle merkezi O noktasıdır. M ve L cisimlerinin yeri şekilde gösterilmiş, K cisminin ise gösterilmemiştir.



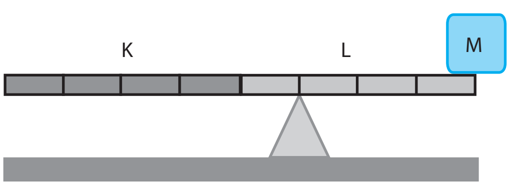
Buna göre

I. K cismi, E ve A noktalarında bulunamaz.
II. K cismi C noktasında ise kütleler arasındaki ilişki $m_K = m_L = m_M$ olmalıdır.
III. K cismi B noktasında ise kütleler arasındaki ilişki $m_K > m_M > m_L$ olmalıdır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız III **C)** I ve II
D) I ve III **E)** I, II ve III

51. Birbirine yapışık aynı kalınlıkta kendi içinde homojen K ve L çubukları, türdeş M cismi yardımıyla şekildeki gibi dengededir.



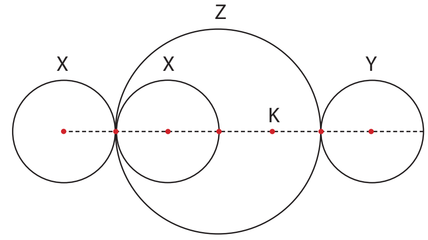
Buna göre

I. K çubuğu L'den ağırdır.
II. L çubuğu K'den ağırdır.
III. L çubuğu ve M cismi eşit ağırlıktadır.
IV. L çubuğu K'nin 4 katı ağırlıktadır.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) I, II ve III **B)** II, III ve IV **C)** I ve III
D) II ve IV **E)** I ve II

52. Aynı kalınlıkta homojen X, Y ve Z telleriyle oluşturulan şekildeki sistemin ağırlık merkezi K noktasındadır.



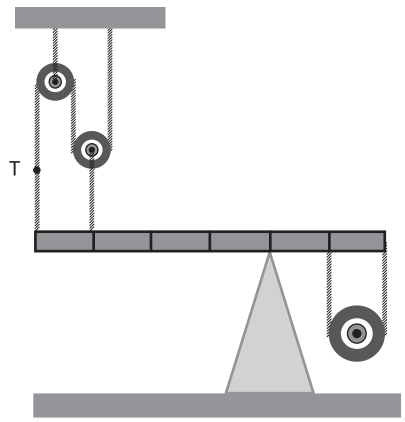
Noktalar arası uzaklık eşit olduğuna göre

I. Y'nin özkütlesi X'in 3 katıdır.
II. Y ve Z'nin özkütleleri eşittir.
III. X ve Z'nin özkütleleri eşittir.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

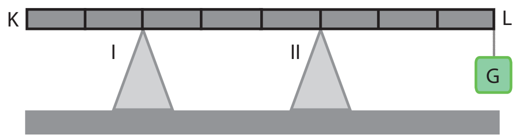
53. Şekildeki makaraların ve eşit bölmelendirilmiş türdeş çubuğun ağırlığının büyüklüğü G'dir.



Sistem dengede olduğuna göre ip gerilme kuvvetinin büyüklüğü T, kaç G'dir?

A) $\frac{1}{4}$ **B)** $\frac{1}{2}$ **C)** $\frac{5}{4}$ **D)** $\frac{3}{2}$ **E)** $\frac{5}{2}$

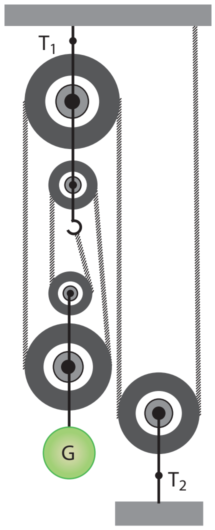
54. Ağırlığı $\vec{G}$ olan türdeş KL çubuğu, I ve II destekleri üzerinde dengededir.



Buna göre L ucuna $\vec{G}$ ağırlıklı cisim şekildeki gibi asıldığında çubuğun dengesinin bozulmaması için K ucuna asılabilecek en büyük ağırlığın en küçük ağırlığa oranı kaçtır?

A) 2 **B)** 4 **C)** 5 **D)** 10 **E)** 20

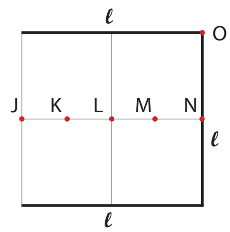
55. Ağırlığı ihmal edilen makaralar ve $\vec{G}$ ağırlıklı cisim ile oluşturulan sistem dengededir.



Buna göre iplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri $\frac{T_1}{T_2}$ oranı kaçtır?

A) 1 **B)** $\frac{3}{2}$ **C)** $\frac{5}{2}$ **D)** $\frac{9}{2}$ **E)** 5

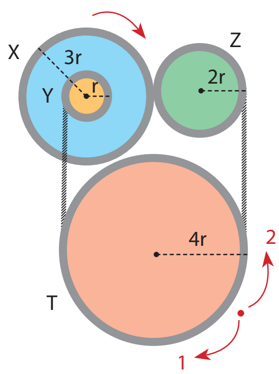
56. Uzunluğu 3ℓ olan homojen tel şekildeki gibi bükülmüştür.



Buna göre tel O noktasından iple asıldığında ipin uzantısı nereden geçer? (Noktalar eşit aralıklıdır.)

A) K'den **B)** M'den **C)** K ve L arasından **D)** M ve N arasından **E)** L ve M arasından

57. Şekildeki X, Y, Z ve T makaralarının yarıçapları sırasıyla 3r, r, 2r ve 4r'dir.



Buna göre X makarası ok yönünde 2 tur dönerse T makarası hangi yönde kaç tur döner? (X ve Z makaraları kaymadan dönmektedir.)

A) 1 yönünde $\frac{1}{2}$ tur

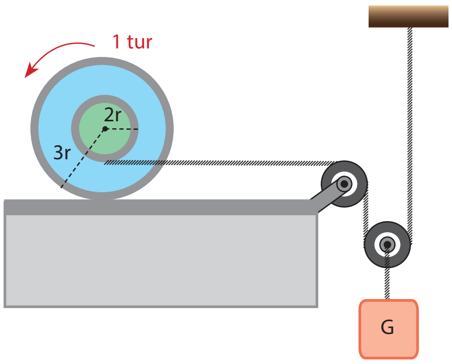
B) 2 yönünde $\frac{1}{2}$ tur

C) 1 yönünde 1 tur

D) 2 yönünde 1 tur

E) 2 yönünde 2 tur

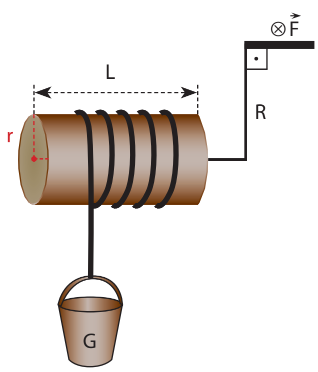
58. 3r ve 2r yarıçaplı makaraların eksenleri çakışıktır.



Buna göre makara ok yönünde 1 tam tur dönerek kaymadan ilerlediğinde ağırlığının büyüklüğü G olan cismin potansiyel enerjisi kaç G · r artar? ($\pi = 3$ alınız.)

A) 1 **B)** 2 **C)** 3 **D)** 5 **E)** 6

59. **Çıkrık $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak n tur çevrilince $\vec{G}$ yükü h kadar yükseldiğine göre h yüksekliği**

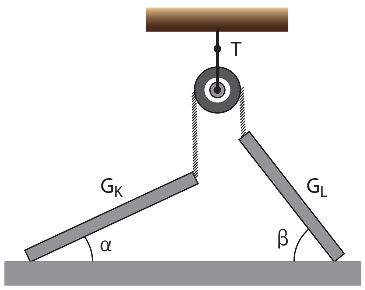


I. Uygulanan kuvvetin büyüklüğü (F)
II. Çıkrık kolunun uzunluğu (R)
III. Silindirin yarıçapı (r)
IV. Tur sayısı (n)
V. Cismin ağırlığının büyüklüğü (G)

niceliklerinden hangilerine bağlıdır?

A) F, R ve r **B)** F, R, r ve G **C)** n ve r **D)** F, R, r, n ve G **E)** R, r, n ve G

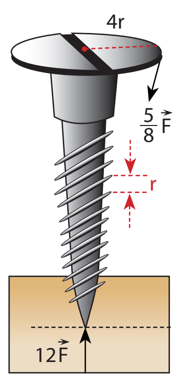
60. Aynı kalınlıkta ve homojen $\vec{G}_K$ ve $\vec{G}_L$ ağırlıklı çubuklar şekildeki sistemde dengededir. Makarayı taşıyan ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü T'dir.



Buna göre T, G_K ve G_L büyüklükleri arasındaki ilişki nedir? ($\alpha < \beta$)

A) $T > G_K > G_L$ **B)** $T > G_L > G_K$ **C)** $T > G_K = G_L$ **D)** $T = G_K = G_L$ **E)** $G_K = G_L > T$

61. Yüzey direnç kuvvetinin büyüklüğü 12F olan zeminde vida adımı r olan vidayı ancak $\frac{5F}{8}$ büyüklüğündeki kuvvet çevirebilmektedir.



Buna göre vidanın verimi % kaçtır? ($\pi = 3$ alınız.)

A) 60 **B)** 75 **C)** 80 **D)** 90 **E)** 100



FİZİK 11

2. ÜNİTE
ELEKTRİK VE MANYETİZMA

ANAHTAR KAVRAMLAR

Elektriksel Kuvvet | Elektrik Alan | Elektriksel Potansiyel Enerji | Elektriksel Potansiyel | Elektriksel Potansiyel Farkı | Sığa (Kapasite) | Sığaç (Kondansatör) | Manyetik Alan | Manyetik Kuvvet | Manyetik Akı | Elektromotor Kuvveti | Alternatif Akım | İndüktans | Kapasitans | Empedans | Rezonans | İndüksiyon Akımı | Öz-indüksiyon Akımı | Transformatör

2.1. ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN

Doğada bulunan temel kuvvetlerden biri elektromanyetik kuvvettir. Tüm maddeler atomlardan oluşur. Atom çekirdeğindeki proton ve yörüngesindeki elektronlar arasındaki elektriksel kuvvetler, elektronların çekirdeğe bağlanmasını sağlar.



a) Kâğıt parçalarını çeken tarak

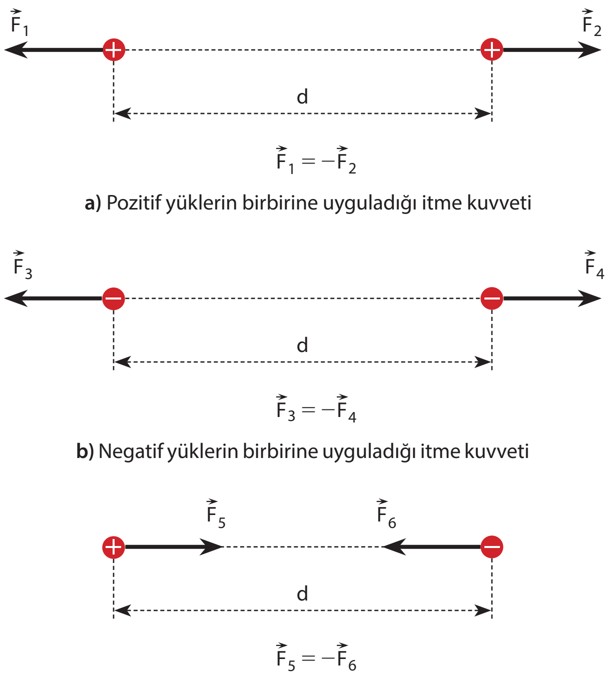


b) Duvara tutunan balon

Görsel 2.1: Elektriksel kuvvet etkisinde birbirini çeken cisimler

Basit deneyler yapılarak elektriksel kuvvetlerin varlığı anlaşılabilir. Plastik bir tarak, saça sürtülerek küçük kâğıt parçalarına tutulduğunda kâğıt parçalarını çeker (Görsel 2.1.a). Şişirilmiş bir balon yünlü kazağa sürtülüp duvara dokundurulduğunda duvar üzerinde uzun bir süre kalır (Görsel 2.1.b). Bu bölümde bu tür olaylara neden olan ve cisimler arasındaki elektriksel kuvveti etkileyen değişkenler belirlenecektir.

A) ELEKTRİKSEL KUVVET (COULOMB KANUNU)



a) Pozitif yüklerin birbirine uyguladığı itme kuvveti

b) Negatif yüklerin birbirine uyguladığı itme kuvveti

c) Pozitif ve negatif yüklerin birbirine uyguladığı çekme kuvveti

Şekil 2.1: Yüklü cisimler arasındaki elektriksel kuvvetler

Elektrik yükleri, yüklerin cinsine bağlı olarak birbirine itme ya da çekme kuvveti uygular. Yüklerin birbirine uyguladığı kuvvet, Newton'ın Üçüncü Hareket Yasası'na göre eşit büyüklükte ve yükleri birleştiren doğrultu üzerinde zıt yönde gerçekleşir. Yükler arasındaki elektriksel kuvvetler vektörel büyüklük olup temas gerektirmeyen kuvvetlerdendir (Şekil 2.1).

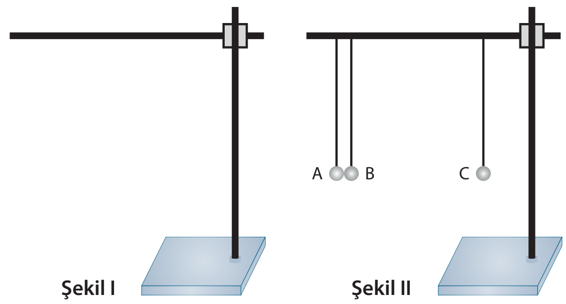
Etkinlik 2.1: Yüklü Cisimler Arasındaki Elektriksel Kuvvetin Bağlı Olduğu Değişkenler

Etkinliğin Amacı

Yüklü cisimler arasındaki elektriksel kuvvetin ortam, yük miktarı ve yükler arasındaki uzaklıkla ilişkisini anlamak

Araç Gereç

- Döküm ayak
- Bağlama parçası (ikili)
- Esnemeyen yalıtkan ip
- Yünlü kumaş parçası
- Destek çubuğu (2 adet)
- Alüminyum folyo
- Cetvel
- Makas
- Ebonit çubuk
- Plastik levha



Deney esnasında yüklü cisimlere dokunarak yük kaybetmelerine neden olmayınız.

Etkinliğin Yapılışı

1. Döküm ayak, destek çubukları ve bağlama parçası ile Şekil I'deki sistemi kurunuz.
2. Alüminyum folyodan kenar uzunluğu 2 cm olan üç adet kare parça kesiniz. Üç parçayı elinizde ayrı ayrı yuvarlayarak küresel duruma getirinceye kadar sıkıştırınız.
3. Küreleri 50 cm uzunluğundaki iplerin ucuna bağlayarak destek çubuğuna Şekil II'deki gibi asınız.
4. Ebonit çubuğu yünlü kumaşa sürtüp A ve B küreciklerine dokundurarak küreciklerin yüklenmelerini sağlayınız.
5. Küreciklerin aldığı durumu defterinize çiziniz ve kürecikler arasındaki uzaklığı cetvel ile ölçerek sonucu defterinize kaydediniz.
6. Yüklü A ve B kürecikleri arasına plastik levhayı yerleştirip kürecikler arasındaki mesafeyi gözlemleyiniz ve küreciklerin aldığı durumu defterinize çiziniz. Levha, kürecikler arasında iken cetvel ile kürecikler arasındaki uzaklığı ölçerek sonucu defterinize kaydediniz.
7. A ve B küreciklerinin destek çubuğuna bağlı olduğu noktaları birbirinden 3 cm kadar uzaklaştırıp iplerin düşeyle yaptığı açının ilk durumuna göre değişimini gözlemleyiniz.
8. A küreciğini sistemden uzaklaştırarak B ve C küreciğinin bağlı olduğu noktaları bir araya getirip iplerinden tutarak kürecikleri birbirine dokundurunuz ve aralarında yük paylaşımını sağlayınız.
9. Kürecikleri bıraktığınızda küreciklerin aldığı durumu defterinize çiziniz. B ve C kürecikleri arasındaki uzaklığı cetvel ile ölçerek sonucu defterinize kaydediniz.

Değerlendirme

1. Yüklü A ve B kürecikleri arasına plastik levha yerleştirildiğinde kürelerin arasındaki uzaklıkta nasıl bir değişiklik oldu?
2. A ve B küreciklerinin iplerle destek çubuğuna bağlı olduğu noktalar birbirinden uzaklaştırıldığında iplerin düşeyle yaptığı açıda nasıl bir değişiklik oldu?
3. B ve C kürecikleri arasında yük paylaşımı sağlandıktan sonra kürelerin birbirinden uzaklaşma mesafesi ile A ve B küreciklerinin birbirinden uzaklaşma mesafesini karşılaştırınız.

Charles Augustin de Coulomb'un (Şarl Ogüsten dö Kulon) elektriksel kuvveti etkileyen değişkenleri belirlemek amacıyla deneyler yaptığı bilinmektedir. Coulomb, elektriksel kuvvetin yükler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azaldığını, yüklerin çarpımları ile doğru orantılı olarak arttığını belirlemiştir. Yükler arasındaki ortamı değiştirdiğinde de elektriksel kuvvetin değiştiğini görmüştür. Bu durum, elektriksel kuvvetlerin yüklerin içinde bulunduğu ortama bağlı olduğunu gösterir.

Coulomb, iki noktasal yük arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğünü

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$ olarak belirlemiştir.

Bu bağıntı, yükler arasındaki etkileşimlerin nelere bağlı olduğunu ortaya koyan deneysel bir kanundur. Elektriksel kuvvetin birimi SI'da **Newton**'dır ve vektörel bir büyüklüktür. q_1 ve q_2 cisimlerin yükleri olup birimi **Coulomb**'dur (**C**). d, yüklerin kütle merkezleri arasındaki uzaklık olup birimi **metre**dir (**m**). k ise ortamın cinsine bağlı sabit olup **Coulomb sabiti** adını alır.

Coulomb sabiti boşlukta en büyüktür ve değeri $k = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 8{,}98x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ dir. Boşluk ve hava ortamı için Coulomb sabiti yaklaşık olarak birbirine eşittir ve genellikle $k = 9x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ olarak kullanılır.

Her ortamın kendine özgü bir elektriksel geçirgenliği vardır. Elektriksel geçirgenlik ε (epsilon) ile ifade edilir. ε_0 boşluğun (yaklaşık olarak havanın) elektriksel geçirgenliği olup büyüklüğü yaklaşık olarak

$\varepsilon_0 = 8{,}85x10^{-12} \frac{C^2}{N{\cdot}m^2}$ dir.

1. ÖRNEK

Yükleri +1 C olan noktasal iki cisim yalıtılmış yatay düzlemde birbirinden 1 m uzakta tutulmaktadır.

Buna göre

a) Yükler arasındaki elektriksel kuvvet itme kuvveti mi yoksa çekme kuvveti midir?

b) Yüklerin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

c) Bir kilogram kütleli cismin ağırlığını göz önünde bulundurarak bu yükler arasındaki kuvvetin büyüklüğünü yorumlayınız. ($k = 9x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ ve g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

a) Aynı cins elektrik yükleri birbirini iter, farklı cins elektrik yükleri birbirini çeker. Cisimlerin yükü (+) işaretli olduğundan yükler arasında itme kuvveti gerçekleşir.

b) Coulomb kanununa göre elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$

$F = 9x10^9 \frac{1 \cdot 1}{1^2} = 9x10^9$ N olur.

c) 1kg kütleli cismin ağırlığı

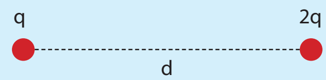
$G = m \cdot g$

$G = 1 \cdot 10 = 10$ N olur.

Buna göre 1 C'luk iki yük arasındaki $9x10^9$ N büyüklüğündeki kuvvetin çok büyük olduğu görülür.

2. ÖRNEK

Yalıtılmış yatay düzlemde yükleri q ve 2q olan noktasal iki parçacık arasındaki uzaklık d, yüklerin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü F'dir.

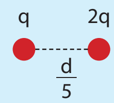


Buna göre parçacıklar, aralarındaki uzaklık $\frac{d}{5}$ olacak şekilde yerleştirildiğinde yüklerin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç F olur?

ÇÖZÜM

Yükler arasındaki uzaklık d iken $F = k\dfrac{q_1 \cdot q_2}{d^2} = k\dfrac{q \cdot 2q}{d^2} = k\dfrac{2q^2}{d^2}$ dir.

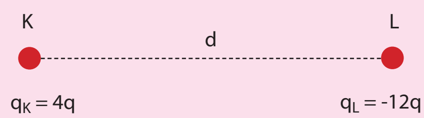
Yükler arasındaki uzaklık $\frac{d}{5}$ iken $F' = k\dfrac{q \cdot 2q}{\left(\frac{d}{5}\right)^2} = k\dfrac{50 \cdot q^2}{d^2}$ dir.



Kuvvetler oranlanırsa $\dfrac{F = k\dfrac{2 \cdot q^2}{d^2}}{F' = k\dfrac{50 \cdot q^2}{d^2}} \Longrightarrow F' = 25F$ olur.

1. ALIŞTIRMA

Yalıtılmış yatay düzlemdeki noktasal K ve L parçacıklarının yükleri sırasıyla 4q ve -12q'dur. Hava ortamındaki bu yüklerin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü F'dir. İki parçacık birbirine dokundurulup yük dengesi sağlandıktan sonra ilk konumlarına yerleştirilmiştir.



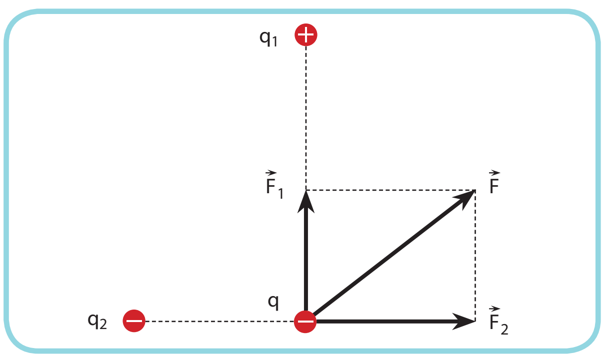
Buna göre

a) Parçacıkların son durumda birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç F olur?

b) Aynı sistem su içerisinde kurulsaydı yüklerin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü değişir miydi? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

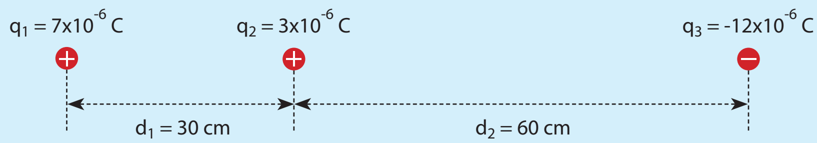
Bir yüke etrafındaki yüklerin her birinin uyguladığı kuvvetin vektörel toplamı kadar kuvvet etki eder. q yüküne q_1 ve q_2 yükleri tarafından sırasıyla $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvveti uygulanır. q yüküne etki eden bileşke kuvvet $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetinin bileşkesi olan $\vec{F}$ kadardır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Üç noktasal yük arasındaki elektriksel kuvvetler

3. ÖRNEK

Yalıtılmış yatay düzlemde aynı doğrultu üzerindeki q_1, q_2 ve q_3 yükleri şekilde gösterilen konumlarında tutulmaktadır.

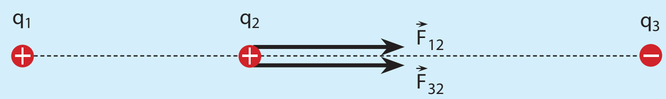


Buna göre q_2 yüküne etki eden bileşke elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç N olur?

$\left(k = 9x10^9 \dfrac{N{\cdot}m^2}{C^2}\right.$ alınız.)

ÇÖZÜM

Aynı işaretli olan q_1 yükünün q_2 yüküne uyguladığı itme kuvveti $\vec{F}_{12}$ ve zıt işaretli olan q_3 yükünün q_2 yüküne uyguladığı $\vec{F}_{32}$ çekme kuvvetlerinin yönleri belirlenir.



Yükler arasındaki uzaklığın birimi metreye çevrilir.

$d_1 = 30 \text{ cm} = 3x10^{-1}$ m $\qquad d_2 = 60 \text{ cm} = 6x10^{-1}$ m

q_1 ve q_2 yükleri arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$$F_{12} = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d_1^2} = 9x10^9\,\frac{7x10^{-6} \cdot 3x10^{-6}}{(3x10^{-1})^2} = 9x10^9\,\frac{21x10^{-12}}{9x10^{-2}} = 2{,}1 \text{ N olur.}$$

q_3 ve q_2 yükleri arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$$F_{32} = k\frac{q_2 \cdot q_3}{d_2^2} = 9x10^9\,\frac{3x10^{-6} \cdot 12x10^{-6}}{(6x10^{-1})^2} = 9x10^9\,\frac{36x10^{-12}}{36x10^{-2}} = 0{,}9 \text{ N olur.}$$

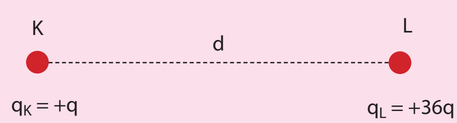
Kuvvetler aynı yönlü olduğundan q_2'ye etki eden bileşke kuvvetin büyüklüğü

$F_2 = F_{12} + F_{32} = 2{,}1 + 0{,}9 = 3$ N olur.

2. ALIŞTIRMA

Yalıtılmış, yatay düzlemdeki noktasal K ve L cisimlerinin yükleri sırasıyla +q ve +36q'dur. K ve L cisimleri, aralarında d kadar uzaklık olacak şekilde sabitlenmiştir.

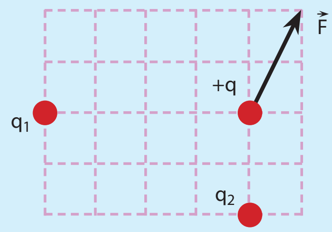
Buna göre +q yüklü üçüncü cisim, K cisminden kaç d uzaklıkta serbest bırakılırsa hareketsiz kalır?



ÇÖZÜM

4. ÖRNEK

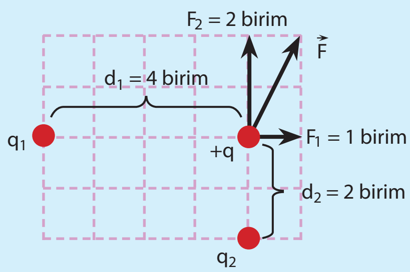
Eşit kare bölmelere ayrılmış, düzlem üzerindeki noktasal q_1 ve q_2 yüklerinin $+q$ yüküne uyguladığı bileşke kuvvet $\vec{F}$ dir.



Buna göre yüklerin büyüklükleri $\frac{q_1}{q_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

$\vec{F}$ kuvvetinin q_1 ve q yüklerini birleştiren doğrultu üzerindeki bileşeni, q_1 yükünün q yüküne uyguladığı elektriksel kuvveti oluşturur. $\vec{F}$ kuvvetinin q_2 ve q yüklerini birleştiren doğrultu üzerindeki bileşeni, q_2 yükünün q yüküne uyguladığı elektriksel kuvveti oluşturur.



$\vec{F}$ kuvvetinin bileşenlerinin büyüklüğü

$$F_1 = k\frac{q_1 \cdot q}{4^2} = k\frac{q_1 \cdot q}{16} = 1 \text{ birim}$$

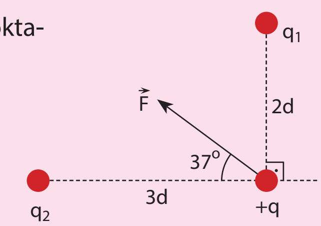
$$F_2 = k\frac{q_2 \cdot q}{2^2} = k\frac{q_2 \cdot q}{4} = 2 \text{ birim}$$

Kuvvetler oranlanırsa

$$\frac{1 = k\frac{q_1 \cdot q}{16}}{2 = k\frac{q_2 \cdot q}{4}} \Longrightarrow \frac{1}{2} = \frac{q_1 \cdot 4}{16 \cdot q_2} \Longrightarrow \frac{q_1}{q_2} = 2 \text{ olur.}$$

3. ALIŞTIRMA

Yalıtılmış yatay düzlem üzerindeki noktasal q_1 ve q_2 yüklerinin $+q$ noktasal yüküne uyguladığı bileşke elektriksel kuvvet $\vec{F}$ şekildeki gibidir.



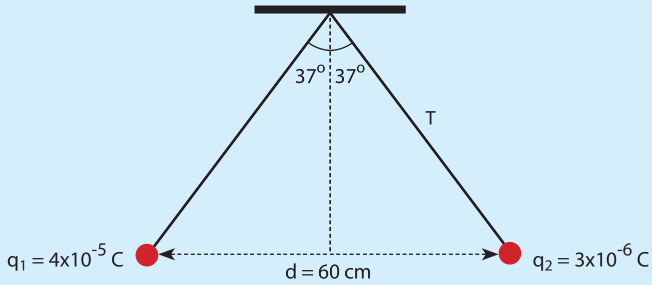
Buna göre yüklerin büyüklükleri $\frac{q_1}{q_2}$ oranı kaçtır?

($\sin 37° = 0{,}6$ ve $\cos 37° = 0{,}8$ alınız.)

ÇÖZÜM

5. ÖRNEK

Yükleri q_1 ile q_2 olan noktasal iki kürecik eşit uzunlukta yalıtkan iplerle tavana asılmıştır. Yükler, aralarında 60 cm olacak şekilde dengelenmiştir.



Buna göre

a) Yüklerin birbirine uyguladığı itme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

b) İplerde oluşan $\vec{T}$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

c) Küreciklerin ağırlığının büyüklüğü kaç N olur?

(sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8 ve $k = 9x10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) $d = 60\ cm = 6x10^{-1}$ m olur.

Yüklerin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

$$F = 9x10^9 \frac{4x10^{-5} \cdot 3x10^{-6}}{(6x10^{-1})^2}$$

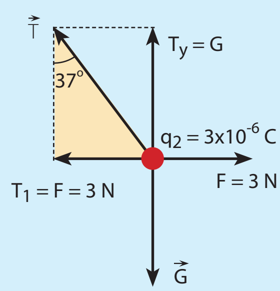
$F = 3$ N olur.

b) Yükü q_2 olan küreciğe ait serbest cisim diyagramı çizildiğinde, ipte oluşan gerilme kuvvetinin yatay bileşeni Coulomb kuvveti ile düşey bileşeni küreciğin ağırlığı ile dengelenir. Buna göre

$F = T \cdot \sin 37°$

$3 = T \cdot 0,6$

$T = 5\,N$ olur.



c) Yükü q_2 olan küreciğe ait serbest cisim diyagramında gösterildiği gibi gerilme kuvvetinin düşey bileşeninin büyüklüğü küreciğin ağırlığına eşit alınır. Buna göre

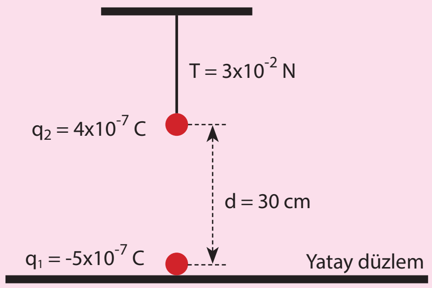
$G = T \cdot \cos 37°$

$G = 5 \cdot 0,8$

$G = 4\,N$ olur.

4. ALIŞTIRMA

q_1 yüklü cisim yalıtkan yatay bir düzlem üzerine şekildeki gibi sabitlenmiştir. Sabitlenen cismin düşeyine ve 30 cm uzağına q_2 yüklü cisim, yalıtkan ve esnemeyen bir iple asılmıştır. Yükün asıldığı ipte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü $3x10^{-2}$ N olmaktadır.



Buna göre q_2 yüklü cismin ağırlığı kaç N olur?

($k = 9x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ alınız.)

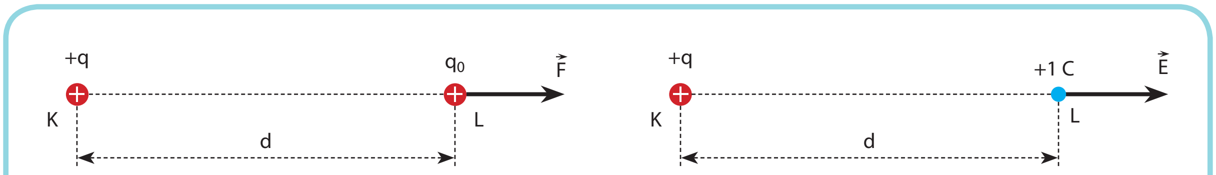
ÇÖZÜM

B) NOKTASAL YÜKÜN ELEKTRİK ALANI



Şekil 2.3: Çubuk mıknatısların birbirine uyguladığı temas gerektirmeyen kuvvetler

Şekil 2.3'teki gibi mıknatıslar arasındaki kuvvet, manyetik alan sayesinde gerçekleşir. Elektrik yükleri de aralarında temas olmadan birbirine kuvvet uygular. Bu durum, manyetik alana benzer şekilde elektrik yüklerinin etrafında da bir elektrik alan olduğunu düşündürür.



a) +q yükünün q_0 yüküne uyguladığı kuvvet

b) +q yükünün L noktasında oluşturduğu elektrik alan

Şekil 2.4: Bir yükün diğer yüke uyguladığı kuvvet ve bir yükün bir noktadaki elektrik alanı

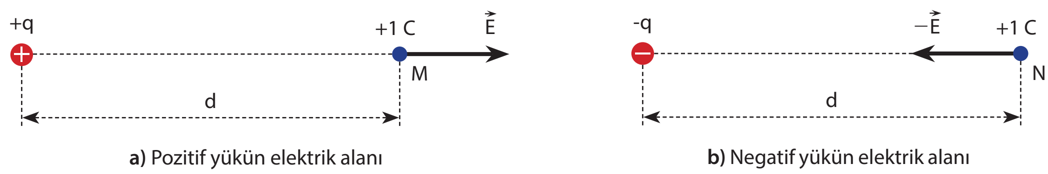
Uzayın herhangi bir bölgesinde bulunan durgun elektrik yüküne etkiyen bir kuvvet varsa o bölgede bir elektrik alan vardır. K noktasındaki +q elektrik yüküne, etrafında pozitif veya negatif yüklü bir cisim yoksa elektriksel kuvvet etki etmez. Ancak +q yükünün yakınına q_0 yükü yerleştirilirse yükler arasında bir elektriksel kuvvet oluşur (Şekil 2.4.a). Yükler arasındaki uzaklık arttırılırsa kuvvetin büyüklüğü belli bir uzaklıktan sonra hissedilmeyecek kadar azalmış olur. Bir yükün kuvvet etkisini gösterebildiği yükü saran uzay bölgesine **elektrik alan** denir. q_0 yükü kaldırılsa da +q yükünün etkisinden dolayı L noktasında oluşan elektrik alan varlığını sürdürür. Bir noktanın elektrik alan büyüklüğünü belirlemek için o noktaya +1 C'luk test yükü yerleştirilir. Bu test yüküne etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü, +q yükünün o noktadaki elektrik alan şiddeti olarak kabul edilir. Buna göre bir yükün pozitif birim yüke (+1C) uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğüne yükün o noktadaki **elektrik alan şiddeti** denir. Elektrik alan vektörel bir büyüklüktür ve $\vec{E}$ sembolü ile gösterilir (Şekil 2.4.b).

Buna göre L noktasındaki elektrik alan $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ olur.

F büyüklüğü yerine yazılırsa q yükünün L noktasında oluşturduğu elektrik alan şiddeti $E = \frac{k\frac{q \cdot q_0}{d^2}}{q_0}$

$$E = k\frac{q}{d^2}$$ olur.

Elektrik alanın SI'daki birimi **N/C**'dur. Herhangi bir yükün bir noktada oluşturduğu elektrik alanın yönü o noktadaki +1 C'luk yüke etki eden kuvvet yönündedir.

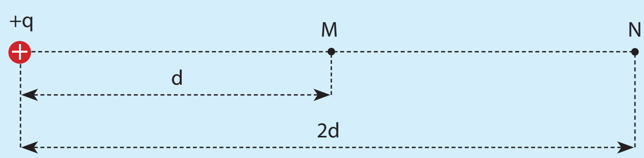


Şekil 2.5: Pozitif ve negatif yüklerin kendisinden d kadar uzaktaki bir noktada oluşturduğu elektrik alanların yönleri

+q yükünün kendisinden d kadar uzağındaki M noktasında oluşturduğu elektrik alanın yönü yükten dışa doğrudur (Şekil 2.5.a). -q yükünün kendisinden d kadar uzağındaki N noktasında oluşturduğu elektrik alanın yönü ise yüke doğrudur (Şekil 2.5.b).

6. ÖRNEK

Noktasal +q yüklü parçacığın elektrik alanı içindeki M ve N noktaları yükten sırasıyla d ve 2d uzaktadır. M ve N noktalarındaki elektrik alanların büyüklüğü E_M ve E_N olmaktadır.



Buna göre

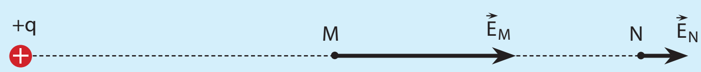
a) Elektrik alanların büyüklükleri $\frac{E_M}{E_N}$ oranı kaçtır?
b) M ve N noktalarındaki elektrik alan vektörlerini çiziniz.

ÇÖZÜM

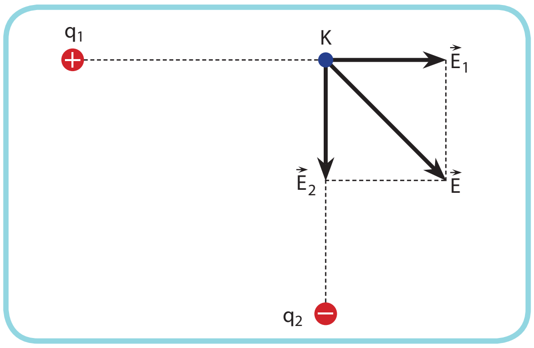
a) Elektrik alan şiddeti ifadesine göre

$$E_M = k\frac{q}{d^2} \qquad E_N = k\frac{q}{(2d)^2} = k\frac{q}{4d^2} \qquad \frac{E_M}{E_N} = \frac{k\frac{q}{d^2}}{k\frac{q}{4d^2}} = 4 \text{ olur.}$$

b) Elektrik alan vektörü (+) yükten dışa doğrudur. Elektrik alan şiddetleri arasındaki ilişki de $E_M = 4E_N$ olur. Buna göre M ve N noktalarındaki elektrik alan vektörleri aşağıdaki gibi çizilir.



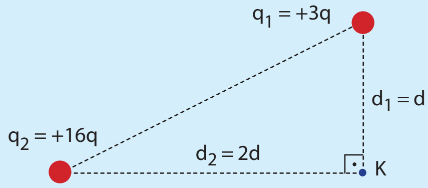
Bir noktada oluşan elektrik alan, etrafındaki her bir yükün o noktada oluşturduğu elektrik alanların vektörel toplamına eşittir. q_1 yükü (+) olduğu için K noktasında $\vec{E}_1$ elektrik alanı oluşturur. q_2 yükü (-) olduğu için K noktasında $\vec{E}_2$ elektrik alanı oluşturur.
K noktasındaki bileşke elektrik alan $\vec{E}_1$ ve $\vec{E}_2$ elektrik alanlarının bileşkesi olan $\vec{E}$ kadar olur (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: İki yükün bir noktada oluşturduğu elektrik alan

7. ÖRNEK

Yükleri q_1 ve q_2 olan iki cismin yalıtılmış yatay düzlemdeki konumları şekildeki gibidir. q_1 yükünün K noktasına uzaklığı d, q_2 yükünün uzaklığı 2d'dir.

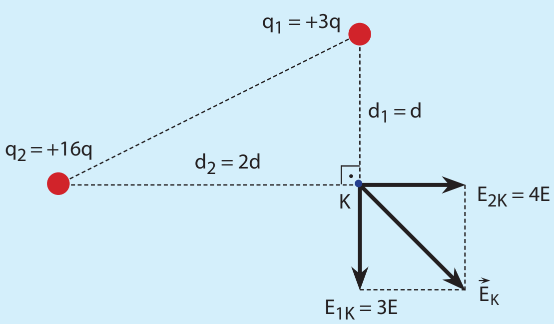


$E = k\frac{q}{d^2}$ olduğuna göre K noktasında yüklerin oluşturduğu elektrik alan $\vec{E}_K$ kaç E büyüklüğünde olur?

ÇÖZÜM

q_1'in K noktasında oluşturduğu elektrik alan büyüklüğü $E_{1K} = k\frac{3q}{d^2} = 3E$ bulunur.

q_2'nin K noktasında oluşturduğu elektrik alan büyüklüğü $E_{2K} = k\frac{16q}{(2d)^2} = k\frac{16q}{4d^2} = k\frac{4q}{d^2} = 4E$



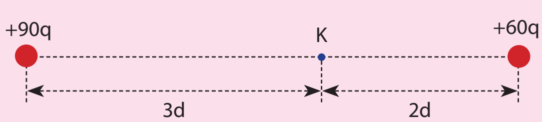
Pisagor teoreminden

$E_K^2 = E_{1K}^2 + E_{2K}^2$

$E_K^2 = (3E)^2 + (4E)^2 = 9E^2 + 16E^2 = 25E^2$

$E_K = 5E$ olur.

5. ALIŞTIRMA



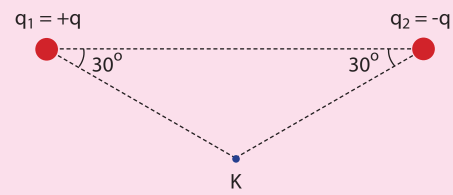
Yükleri +90q ve +60q olan kürecikler yalıtkan düzleme sabitlenmiştir. K noktasının konumu, yükleri birleştiren doğru parçası üzerinde gösterilmiştir.

Buna göre K noktasındaki bileşke elektrik alanın büyüklüğü kaç $k\frac{q}{d^2}$ olur?

ÇÖZÜM

6. ALIŞTIRMA

Yükleri q_1 ve q_2 olan sabitlenmiş iki cismin yalıtılmış yatay düzlemdeki konumları şekildeki gibidir. q_1 yükünün K noktasında oluşturduğu elektrik alanın büyüklüğü E'dir.



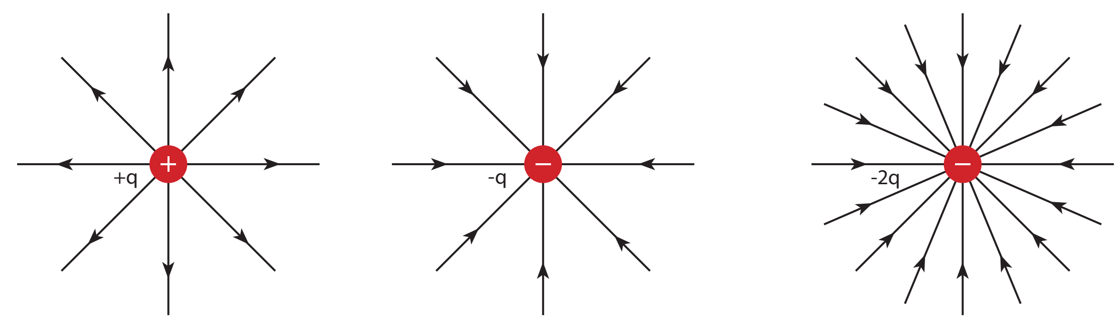
Buna göre K noktasındaki bileşke elektrik alanın büyüklüğü kaç E olur? (sin 30° = $\frac{1}{2}$, cos 30° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

Elektrik alanın daha somut bir şekilde ifade edilmesi için ne yapılabilir?

Elektrik alan çizgileri, elektrik alan kavramını daha somut hâle getirmek amacıyla oluşturulmuş modellemelerdir. Elektrik alan çizgilerini ortaya atan ilk kişi İngiliz bilim insanı Michael Faraday'dir (Maykıl Feredey). Faraday "kuvvet çizgileri" terimini kullanmıştır. Ancak alan çizgileri daha uygun bulunmuştur ve günümüzde de bu şekilde kullanılmaktadır. Elektrik alan modelleri; yükün işaretine, büyüklüğüne ve sistemdeki yük sayısına göre farklılık gösterir.

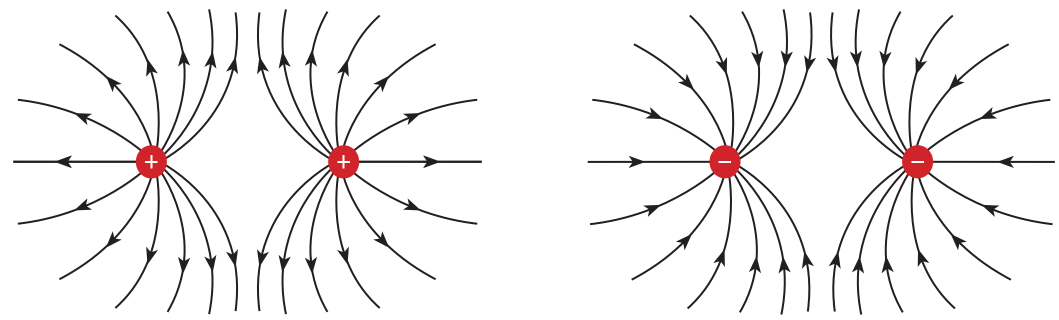
Elektrik alan çizgileri, elektrik alanın incelenmesi ve değerlendirilmesinde kolaylık sağladığı için genellikle iki boyutta çizilir. Ancak bir yükün elektrik alanı, o yükün etkisini gösterebildiği ve çevresini saran uzay parçasında olduğundan üç boyutludur.



a) +q yükünün elektrik alan modeli **b)** -q yükünün elektrik alan modeli **c)** -2q yükünün elektrik alan modeli

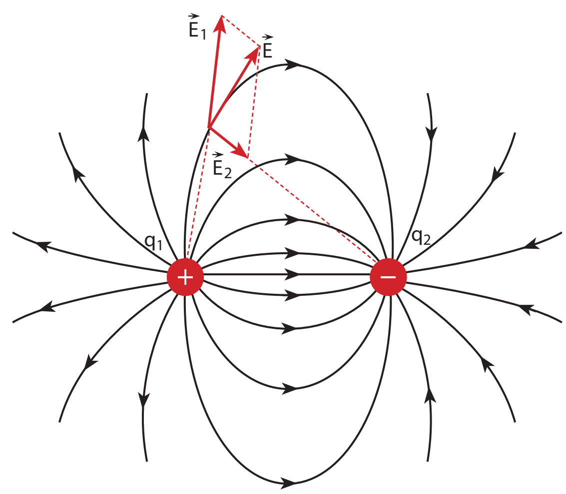
Şekil 2.7: Noktasal yük etrafında yükün cinsine ve miktarına bağlı olarak elektrik alan çizgileri modeli

Pozitif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü yükten dışarıya doğru (Şekil 2.7.a), negatif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü yüke doğru (Şekil 2.7.b) olur. Yükün büyüklüğü iki katına çıkarsa etrafındaki elektrik alan çizgilerinin sayısı da iki katına çıkar (Şekil 2.7.c). Çizgi sayısı yükün büyüklüğü ile doğru orantılıdır.



Şekil 2.8: Karşılıklı yerleştirilmiş aynı işaretli yüklerin elektrik alan çizgileri modeli

Elektrik alan çizgileri herhangi bir (+) yüklü parçacıktan çıkıp herhangi bir (–) yüklü parçacıkta son bulur. Alan çizgileri yüzeye değdiği noktaya daima diktir. Alan çizgileri, elektrik alan şiddetinin arttığı yerde sık; azaldığı yerde seyrek çizilir. Eşit büyüklükteki pozitif ya da negatif iki noktasal yük etrafında elektrik alan çizgileri Şekil 2.8'deki gibi gösterilir.

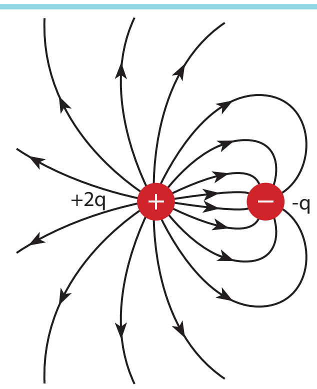


Şekil 2.9: Farklı işaretli ve aynı miktarda yüke sahip noktasal cisimler etrafındaki elektrik alan çizgileri

Elektrik alan içinde herhangi bir noktadaki elektrik alan vektörü, o noktadan geçen alan çizgisine teğettir. Elektrik alan içindeki herhangi bir noktada yalnız bir bileşke elektrik alan oluşur (Şekil 2.9). Bu nedenle bir noktadan yalnız bir elektrik alan çizgisi geçer.

Şekil 2.10'daki +2q yükünden çıkan çizgilerin ancak yarısı –q yükünde sonlanır. Kalan çizgiler ise sonsuzda olduğu varsayılan başka bir yükte son bulur.

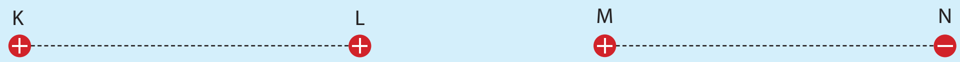
Elektrik alan çizgilerinin oluşturduğu desen, noktasal yüklerin oluşturduğu elektrik alanının haritası gibidir. Bu çizgilerin desenine bakılarak alanın nerede şiddetli nerede zayıf olduğu ve yüklerin büyüklükleri hakkında yorum yapılabilir.



Şekil 2.10: İşareti ve yükü farklı noktasal cisimler etrafındaki elektrik alan çizgileri

8. ÖRNEK

K ve L yüklerinden oluşan sistem ile M ve N yüklerinden oluşan sistem birbirinin etki alanı dışındadır.



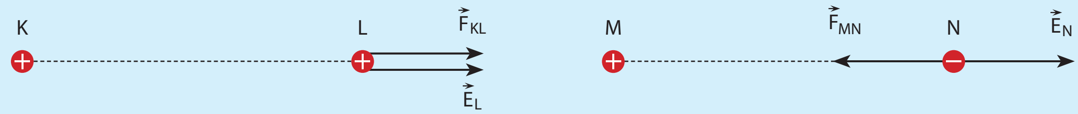
Buna göre

a) L ve N yüküne etki eden elektriksel kuvvetler ile bu yüklerin bulunduğu noktalardaki elektrik alanların yönlerini çiziniz.

b) L noktasındaki yükün değeri arttırılırsa bu noktadaki elektrik alanın ve elektriksel kuvvetin büyüklüğü yük artışından nasıl etkilenir?

ÇÖZÜM

a) Yük işaretlerine göre K yükü L yükünü iter, M yükü N yükünü çeker. Elektrik alan (+) yükten dışa doğrudur. Buna göre yüklere etki eden elektriksel kuvvetin ve elektrik alanın yönleri şekildeki gibi olur.

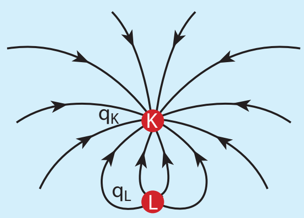


b) Bir noktadaki elektrik alanın büyüklüğü, birim yüke etki eden kuvvete eşit olduğundan o noktadaki yük artışından etkilenmez. Elektrik alanın büyüklüğü $E_L = \frac{F_{KL}}{q_L}$ olduğundan kuvvetin büyüklüğü $F_{KL} = q_L \cdot E_L$ ile bulunur. Buna göre L noktasındaki yükün büyüklüğü arttırıldığında kuvvetin büyüklüğü de artar.

9. ÖRNEK

Yalıtılmış düzlemdeki K ve L noktasal parçacıklarının yükleri sırasıyla q_K ve q_L'dir. Yüklerin yakınında başka elektrik yükü bulunmamaktadır ve yüklere ait elektrik alan çizgileri şekilde verilmiştir.

Buna göre yüklerin büyüklükleri $\frac{q_K}{q_L}$ oranı nedir?



ÇÖZÜM

Elektrik alan çizgileri (+) yüklü parçacıktan çıkıp (–) yüklü parçacıkta son bulur. Buna göre K parçacığı (-), L parçacığı (+) yüklüdür. Yüklü bir parçacıktan çıkan ya da yüklü parçacıkta sona eren elektrik alan çizgi sayısı, parçacığın sahip olduğu yük miktarı ile doğru orantılı olarak çizilir. Bu durumda bir sistemdeki cisimlerin yükleri, cisimlerden çıkan ya da son bulan çizgi sayısı ile doğru orantılıdır. K'de 12 çizgi son bulurken L'den 4 çizgi çıkmaktadır.

Buna göre $\frac{q_K}{q_L} = \frac{-12}{4}$

$\frac{q_K}{q_L} = -3$ olur.

7. ALIŞTIRMA

+2q yüklü K, nötr L ve -3q yüklü M noktasal parçacıkları birbirinin elektrik alanlarının dışındadır.

$q_K = +2q$ (K) nötr (L) $q_M = -3q$ (M)

Buna göre

a) Hangi parçacıkların etrafında elektrik alan oluşur? Açıklayınız.

b) Etrafında elektrik alan oluşan yüklerin alan çizgilerini çiziniz.

ÇÖZÜM

8. ALIŞTIRMA

Yalıtılmış düzleme sabitlenen +3q ve -5q noktasal yükleri birbirinin etki alanındadır ve bu iki yükün etkisini gösterebildiği bölgede başka yük bulunmamaktadır.

Buna göre yüklerin elektrik alan çizgilerini iki boyutlu olarak çiziniz.

ÇÖZÜM

+3q -5q

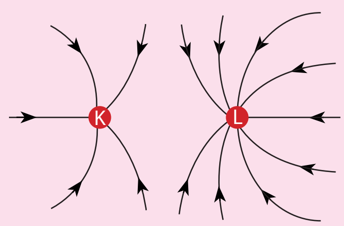
9. ALIŞTIRMA

K ve L noktasal yüklerinin elektrik alan çizgileri verilmiştir.

Buna göre

a) K ve L elektriksel yüklerinin işaretini belirleyiniz.

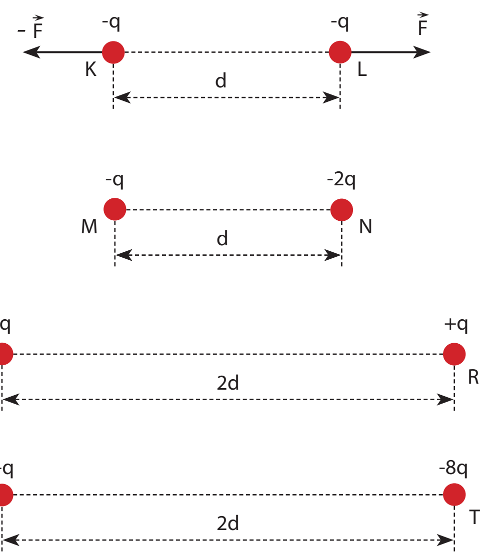
b) Yüklerin büyüklükleri $\frac{q_K}{q_L}$ oranı nedir?



ÇÖZÜM

1. BÖLÜM SONU SORULARI

1. Aralarında d kadar uzaklık bulunan –q yüklü K ve L küreciklerine etki eden elektriksel kuvvetlerin büyüklükleri F kadardır. Yüklü noktasal parçacıklardan M yalnız N ile, P yalnız R ile ve S yalnız T ile etkileşmektedir.



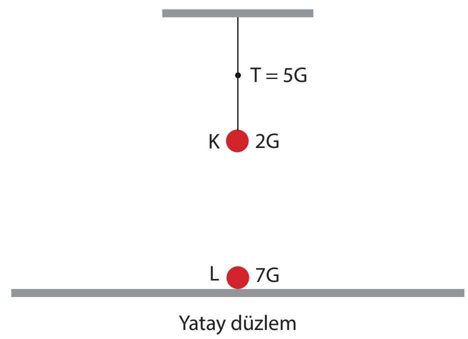
Buna göre noktasal parçacıklara etki eden elektriksel kuvvetleri $\vec{F}$ cinsinden bulunuz.

ÇÖZÜM

2. Elektrik yüklerinin etrafında oluşan elektrik alan çizgileri neden birbirlerini kesmez?

ÇÖZÜM

3. Zıt yüklü K ve L küreleri aynı düşey düzlemde ve ağırlıklarının büyüklüğü sırayla 2G ve 7G'dir.



K küresinin asılı olduğu ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü 5G olduğuna göre

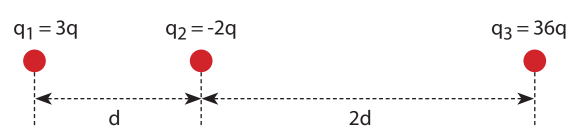
a) Yükler arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç G olur?

b) Yatay düzlemin L cismine uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç G olur?

c) Ortamın elektriksel geçirgenliği daha büyük alınırsa ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü ilk duruma göre ne şekilde değişir? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

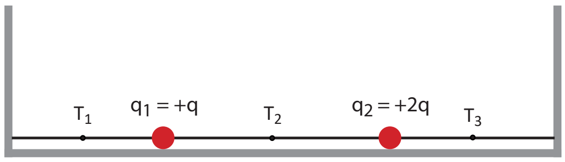
4. Yalıtılmış yatay düzlemde aynı doğrultu üzerindeki q_1 ve q_2 yükleri arasındaki uzaklık d, q_2 ve q_3 yükleri arasındaki uzaklık 2d'dir.



Buna göre q_2 yüküne etki eden kuvvetin büyüklüğü F ise q_3 yüküne etki eden kuvvetin büyüklüğü kaç F olur?

ÇÖZÜM

5. Yükleri +q ve +2q olan noktasal parçacıklar sürtünmelerin ihmal edildiği ve yalıtkan yatay düzlemde şekildeki gibi esnemeyen yalıtkan iplerle birbirine ve duvara bağlanmıştır.

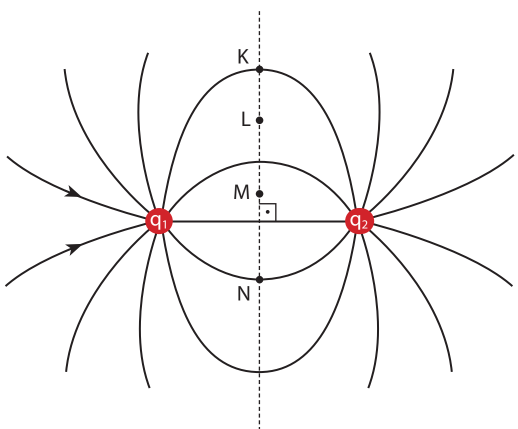


Sürtünmelerin ihmal edildiği ve yalıtkan yatay düzlem

Buna göre yükler aynı anda serbest bırakıldığında iplerde oluşan $\vec{T}_1, \vec{T}_2$ ve $\vec{T}_3$ gerilme kuvvetlerini büyüklüklerine göre sıralayınız.

ÇÖZÜM

6. Yükleri q_1 ve q_2 olan küreciklerin etrafında oluşan elektrik alan çizgileri ve bazı çizgilerin yönleri şekildeki gibidir. Kesikli çizgi iki yükün orta hizasından geçmektedir.



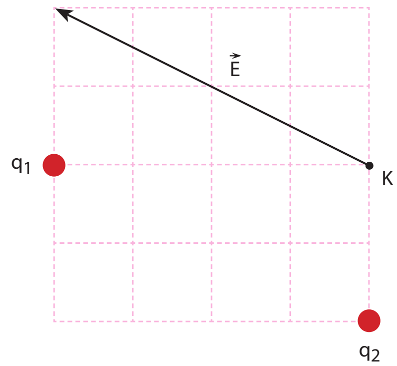
Buna göre

a) q_1 ve q_2 yüklerinin büyüklüklerini ve işaretlerini karşılaştırınız.

b) K, L, M ve N noktalarına yük büyüklükleri aynı olan tanecikler yerleştirildiğinde bu noktalardaki taneciklere etki eden elektriksel kuvvetlerin büyüklüklerini sıralayınız.

ÇÖZÜM

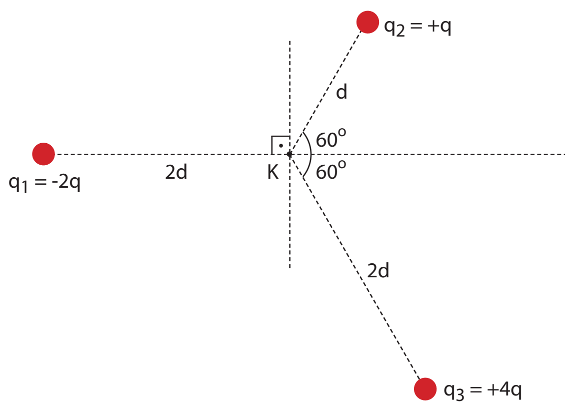
7. Eşit büyüklükte kare bölmelere ayrılmış yalıtkan düzlem üzerindeki q_1 ve q_2 yüklü noktasal cisimler şekildeki gibi tutulmaktadır. Yüklü cisimlerin K noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan $\vec{E}$ dir.



Buna göre yüklerin büyüklükleri $\frac{q_1}{q_2}$ oranı nedir?

ÇÖZÜM

8. Noktasal q_1, q_2 ve q_3 yükleri sırasıyla -2q, +q ve +4q değerlerine sahip olup şekildeki konumlarına sabitlenmiştir. q_1 yükünün K noktasında oluşturduğu elektrik alanın büyüklüğü E'dir.



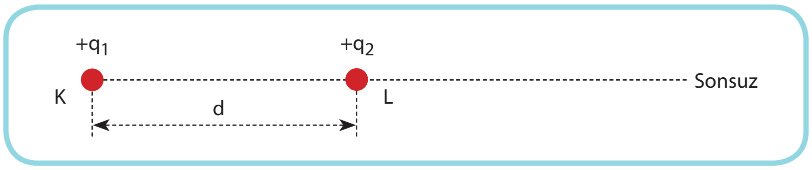
Buna göre üç yükün K noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alanın büyüklüğü kaç E olur?

($\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ve $\cos 60° = \frac{1}{2}$ alınız.)

ÇÖZÜM

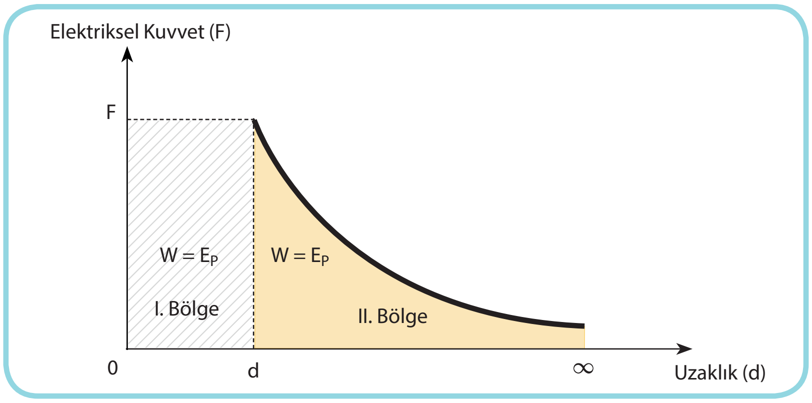
2.2. ELEKTRİKSEL POTANSİYEL

A) NOKTASAL YÜKLER İÇİN ELEKTRİKSEL POTANSİYEL ENERJİ



Şekil 2.11: Sonsuz uzaklıktaki yüklerin birbirine yaklaşması

Yere düşmüş bir silgiyi yerden alıp masaya koyarken yer çekimi kuvvetine karşı iş yapılır. Bu iş, silgide potansiyel enerji olarak depolanır. Yine bir yayı sıkıştırmak için yay üzerinde iş yapılır. Yapılan iş, yayda potansiyel enerji olarak depolanır. Yay sıkıştırılırken yapılan iş, Şekil 2.11'deki gibi $+q_1$ yükü sabit tutulurken $+q_2$ yükünün sonsuzdan L noktasına getirilmesi sırasında yapılan işe benzer. Yükler aynı işaretli olduğu için birbirini elektriksel kuvvetlerle iter. Yükleri birbirine yaklaştırmak için elektriksel kuvvetlere karşı iş (W) yapmak gerekir. Sonsuzda iken elektriksel potansiyel enerjisi sıfır olan $+q_2$ yükü, sonsuzdan L noktasına sabit hızla getirilirken elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Yapılan bu iş sistemde potansiyel enerji (E_P) olarak depolanır ve bu enerji yüklerin sahip olduğu **elektriksel potansiyel enerjiyi** verir.



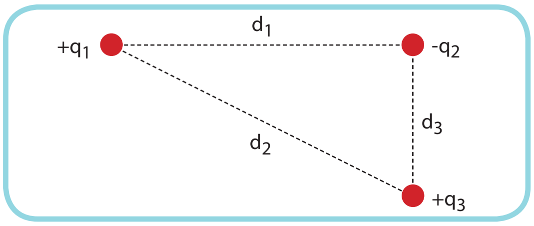
Grafik 2.1: Sabit q_1 yükünden uzaklaşan q_2 yüküne ait elektriksel kuvvet-uzaklık grafiği

K ve L konumlarında tutulan yüklerden $+q_2$ yükü serbest bırakılırsa yükler birbirini iter ve yüke etki eden kuvvet sonsuzda sıfır olur. Yükün hareketine ait çizilen kuvvet-uzaklık grafiğinin yatay eksenle arasında kalan alan, elektriksel kuvvetin yaptığı işi yani yüklerin sahip olduğu elektriksel potansiyel enerjiyi verir (Grafik 2.1). Grafik ile yatay eksen arasındaki alan (II. bölgenin alanı) $k\dfrac{q_1 \cdot q_2}{d}$ olur. II. bölgenin alanı ile I. bölgenin alanı matematiksel olarak eşittir. Buna göre I. bölgenin alanı bulunarak da aynı sonuca ulaşılabilir. I. bölgenin alanı $+q_2$ yükünü F büyüklüğündeki kuvvet ile K noktasından L noktasına getirilirken yapılan mekanik işe eşit olur. Buna göre yüklerin sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji

$$W = F \cdot d \Longrightarrow E_P = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}d$$

$$E_P = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d}$$ olur.

Bu ifade yüklerden birinin diğer yükten kaynaklanan elektriksel potansiyel enerjisini verir. Elektriksel potansiyel enerji skaler bir büyüklük olduğu için hesaplamalarda yükler, işaretleriyle birlikte kullanılır. Birbirini iten yüklerin enerjisi pozitif, birbirini çeken yüklerin enerjisi negatif olur.



Şekil 2.12: Üç yükten oluşan sistem

Noktasal bir yükün elektriksel potansiyel enerjisi, etrafındaki yüklerden kaynaklanır. Şekil 2.12'deki $+q_3$ yükünün diğer iki yükün varlığı nedeniyle sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji, her bir yükün q_3 yükü üzerinde oluşturduğu enerjilerin cebirsel toplamı ile bulunur. Buna göre $+q_3$ yükünün elektriksel potansiyel enerjisi

$$E_P = k\frac{q_1 \cdot q_3}{d_2} + k\frac{(-q_2) \cdot q_3}{d_3} \text{ olur.}$$

Noktasal yüklerden oluşan sistemdeki toplam elektriksel potansiyel enerji, her bir yük çiftinin elektriksel potansiyel enerjilerinin cebirsel toplamına eşittir. Şekil 2.12'deki gibi üç yükten oluşan sistemin elektriksel potansiyel enerjisi

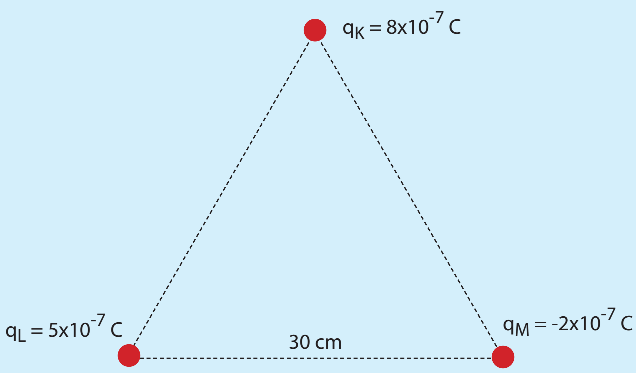
$$E_P = k\frac{q_1 \cdot (-q_2)}{d_1} + k\frac{q_1 \cdot q_3}{d_2} + k\frac{(-q_2) \cdot q_3}{d_3} \text{ olur.}$$

10. ÖRNEK

Kenar uzunluğu 30 cm olan eşkenar üçgenin köşelerine şekildeki q_K, q_L ve q_M yükleri yerleştirilmiştir.

Buna göre q_L yükünün q_K ve q_M yüklerinden dolayı sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji kaç J olur?

($k = 9x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ alınız.)



ÇÖZÜM

Yükler arası mesafe

$d = 30 \text{ cm} = 3x10^{-1} \text{m olur.}$

q_L yükünün elektriksel potansiyel enerjisi, q_K ve q_M yüklerinin $+q_L$ yükü üzerinde oluşturduğu elektriksel potansiyel enerjilerin cebirsel toplamına eşittir. q_L yükünün elektriksel potansiyel enerjisi E_P alınırsa

$$E_P = k\frac{q_K \cdot q_L}{d} + k\frac{q_M \cdot q_L}{d}$$

$$E_P = 9x10^9 \frac{8x10^{-7} \cdot 5x10^{-7}}{3x10^{-1}} + 9x10^9 \frac{(-2x10^{-7}) \cdot 5x10^{-7}}{3x10^{-1}}$$

$$E_P = 120x10^{-4} - 30x10^{-4} = 90x10^{-4} = 9x10^{-3} \text{ J olur.}$$

10. ALIŞTIRMA

Noktasal q_1, q_2 ve q_3 yüklerinin konumları şekilde gösterilmiştir.



Buna göre

a) q_2 yükünün elektriksel potansiyel enerjisi kaç $k\frac{q^2}{d}$ olur?

b) Yük sisteminin elektriksel potansiyel enerjisi kaç $k\frac{q^2}{d}$ olur?

ÇÖZÜM

B) NOKTASAL YÜKLER İÇİN ELEKTRİKSEL POTANSİYEL



Şekil 2.13: Pozitif yükler ile pozitif ve birim yük

Şekil 2.13.a'da L noktasındaki $+q_0$ yükü, +q yükünün varlığından dolayı elektriksel potansiyel enerjiye sahiptir. $+q_0$ yükü kaldırılıp L noktasına yerleştirilecek pozitif birim yükün (+1 C) sahip olacağı elektriksel potansiyel enerjiye o noktanın **elektriksel potansiyeli** denir (Şekil 2.13.b). Elektriksel potansiyel **V** sembolü ile gösterilir.

Buna göre L noktasının elektriksel potansiyeli

$$V = \frac{E_P}{q_0} \Longrightarrow V = \frac{k\frac{q \cdot q_0}{d}}{q_0}$$ ifadesine göre

$$V = k\frac{q}{d}$$ olur.

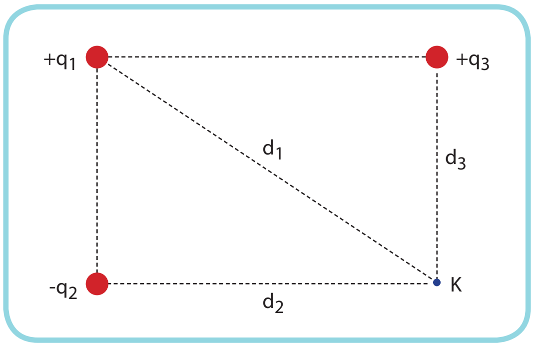
Elektriksel potansiyelin birimi SI'da **volt**tur ve skaler bir büyüklüktür. Bu nedenle elektriksel potansiyel hesaplanırken yükler işaretleriyle birlikte kullanılır.

L noktasının elektriksel potansiyeli $V = \frac{E_P}{q_0}$ olduğuna göre L noktasına yerleştirilecek herhangi bir q yükünün sahip olacağı elektriksel potansiyel enerji

$$E_p = q \cdot V$$ olur.

Bir noktanın elektriksel potansiyeli, etrafındaki yüklerin o noktada oluşturduğu elektriksel potansiyellerin cebirsel toplamına eşit olur. Şekil 2.14'teki üç yükten oluşan yük sisteminde K noktasının elektriksel potansiyeli

$$V_K = k\frac{q_1}{d_1} + k\frac{(-q_2)}{d_2} + k\frac{q_3}{d_3}$$ olur.



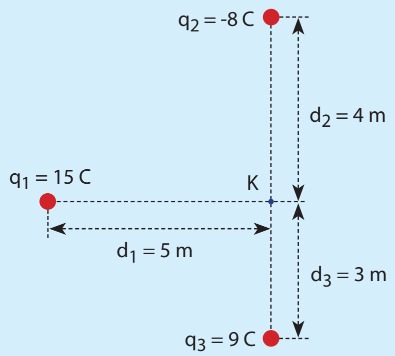
Şekil 2.14: Üç yükün elektrik alanının etkisindeki nokta

11. ÖRNEK

Noktasal q_1, q_2 ve q_3 yükleri şekildeki gibi yerleştirilmiştir.

Buna göre yüklerin K noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel kaç V olur?

($k = 9x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ alınız.)



ÇÖZÜM

K noktasının elektriksel potansiyeli

$$V_K = k\frac{q_1}{d_1} + k\frac{q_2}{d_2} + k\frac{q_3}{d_3} = 9x10^9\,\frac{15}{5} + 9x10^9\,\frac{(-8)}{4} + 9x10^9\,\frac{9}{3}$$

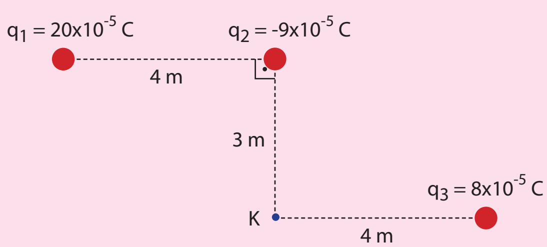
$$V_K = 27x10^9 - 18x10^9 + 27x10^9 = 36x10^9 \text{ V olur.}$$

11. ALIŞTIRMA

Üç noktasal yükle bir sistem oluşturulmuştur.

Buna göre K noktasının toplam elektriksel potansiyeli kaç V olur?

($k = 9x10^9 \frac{N{\cdot}m^2}{C^2}$ alınız.)

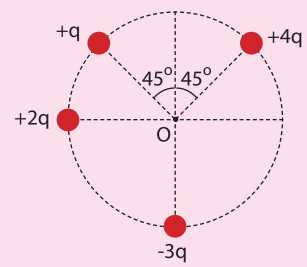


ÇÖZÜM

12. ALIŞTIRMA

+q, +2q, -3q ve +4q noktasal yükleri O merkezli yalıtkan levha üzerine şekildeki gibi sabitlenmiştir. +2q yükünün O noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel V'dir.

Buna göre O noktasında oluşan toplam elektriksel potansiyel kaç V olur?

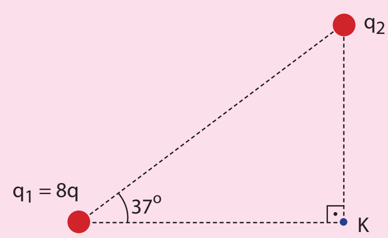


ÇÖZÜM

13. ALIŞTIRMA

q_1 ve q_2 noktasal yükleri üçgen yalıtkan levha üzerine sabitlenmiştir. q_1 ve q_2 yüklerinin K noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyel sıfırdır.

Buna göre, $\frac{q_1}{q_2}$ oranı nedir? (sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

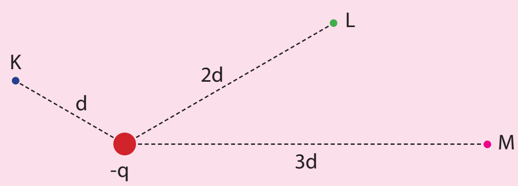


ÇÖZÜM

14. ALIŞTIRMA

K, L ve M noktalarının yükü –q olan noktasal parçacığa olan uzaklıkları sırasıyla d, 2d ve 3d'dir. K, L ve M noktalarındaki elektriksel potansiyeller sırasıyla V_K, V_L ve V_M'dir.

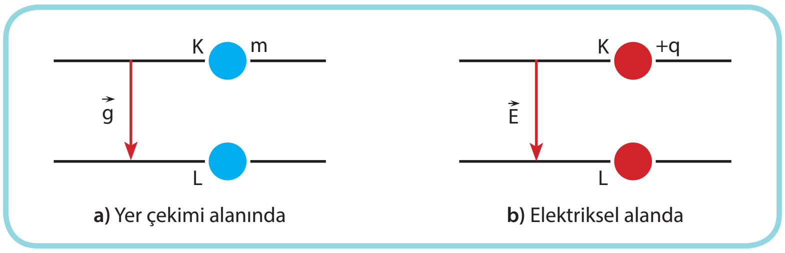
Buna göre K, L ve M noktalarındaki elektriksel potansiyelleri büyükten küçüğe doğru sıralayınız.



ÇÖZÜM

C) NOKTASAL YÜKLER İÇİN ELEKTRİKSEL POTANSİYEL FARKI VE ELEKTRİKSEL İŞ

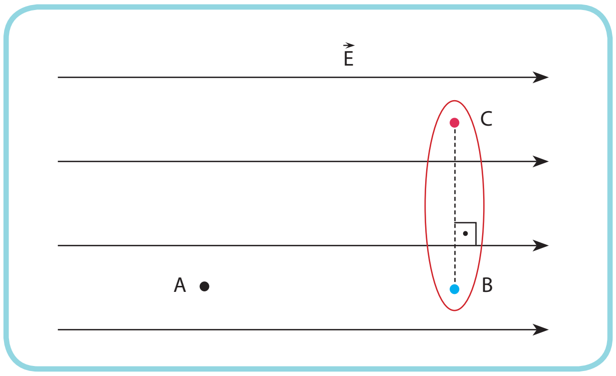
Bir öğrenci, kitaplığındaki bir kitabı bulunduğu raftan üst taraftaki başka rafa yerleştirirken kitap üzerine iş (W) yapar. Kitap üzerine yapılan iş, kitabın potansiyel enerjisindeki değişime eşit olur. Benzer şekilde elektrik alan içindeki bir yükü bir noktadan diğerine götürürken yük üzerinde de iş yapılabilir. Yapılan iş, yükün bu iki noktada sahip olacağı elektriksel potansiyel enerjilerinin farkına eşittir. Elektrik alan içindeki pozitif birim yükün bir noktadan diğerine götürülmesi için yapılan işe bu iki noktanın **elektriksel potansiyel farkı** denir. Buna göre elektriksel potansiyel farkı $\Delta V = \frac{W}{q}$ olur.



Şekil 2.15: Düzgün çekim alanlarında serbest bırakılan cisimler

Yer çekimi alanının etkisindeyken K noktasından serbest bırakılan m kütleli cisim L noktasına indiğinde cisim yer çekimi potansiyel enerjisini kaybeder (Şekil 2.15.a). Düzgün elektrik alan içinde ve alan doğrultusunda bulunan K ve L noktaları arasında potansiyel farkı vardır. Elektrik alanın yönü daima potansiyeli yüksek olan noktadan düşük olan noktaya doğrudur. Yer çekimi alanının etkisindeki harekete benzer şekilde düzgün elektrik alanın etkisindeyken elektrik alanla aynı yönde hareket eden +q yükü elektriksel potansiyel enerji kaybeder (Şekil 2.15.b). Yükün L noktasındaki potansiyel enerjisi K noktasındakinden daha azdır. Negatif yükler ise elektrik alan ile aynı yönde hareket ettirilirse elektriksel potansiyel enerji kazanır.

Bir elektrik alanda aynı elektriksel potansiyele sahip noktalar var mıdır?



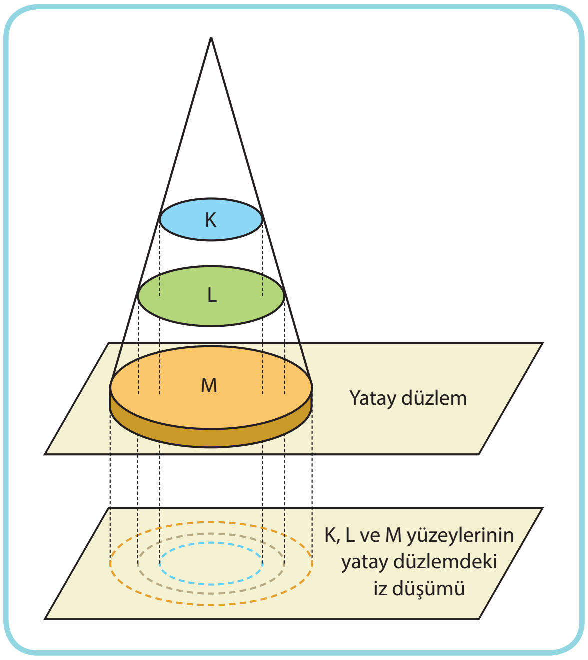
Şekil 2.16: Düzgün elektrik alandaki noktalar

Şekil 2.16'daki gibi elektrik alan içindeki B ve C noktalarının potansiyelleri eşit ve A noktasının potansiyelinden daha düşüktür. Aynı potansiyele sahip olan B ve C noktalarının bulunduğu yere, alan içinde kalacak şekilde ve alan çizgilerine dik bir düzlem yerleştirilirse düzlem üzerindeki bütün noktaların potansiyelleri birbirine eşit olur.

Potansiyel farkı kavramını anlamanın en iyi yolu elektrik akımını incelemektir. Yüklerin iletken üzerindeki hareketini yani elektrik akımının oluşmasını sağlayan, iletken üzerindeki iki noktanın elektriksel potansiyel farkıdır. Örneğin evlerde kullanılan elektrik enerjisi, 220 volt potansiyel farkı altında elektrik akımı sağlar. Bunun anlamı elektrik devresinde dolanan her 1 C'luk yükün 220 J enerji taşımasıdır. Taşınan enerji kadar da iş yapılması gerekir.

Pillerde (+) ve (-) olmak üzere yükleri ayrılmış iki uç vardır. Yüklerin ayrılması uçlar arasında potansiyel farkın oluşmasına neden olur ve pil her 1 C'luk yük için bu fark kadar iş yaparak iki uç arasında hareket eden yüklere enerji sağlar. İki kutup bir iletken tel ile birleştirildiğinde, kutuplar arasındaki potansiyel farkı azalır ve sıfır olana kadar iletken telden akım geçer. Pilin uçlarının potansiyel farkı sıfır olduğunda pil bitmiş olur.

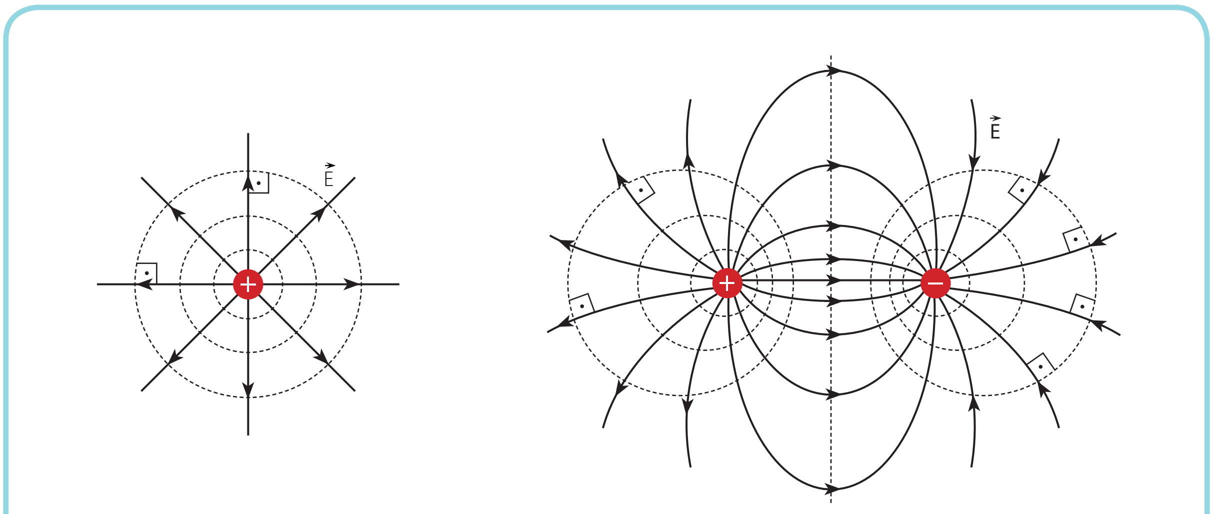
Halı üzerine ayaklar sürtüldükten sonra kapı koluna dokunulduğunda elektrik çarpması da pile benzer. Ayaklar halıya sürtülüp kapı koluna dokunulduğunda, kapı kolu ile dokunan kişi arasında potansiyel farkı oluşur. Bu potansiyel farkından dolayı anlık elektrik akımı oluşur ve elektrik çarpması gerçekleşir.



Şekil 2.17: K, L ve M eş potansiyel yüzeylerinin yatay düzlemdeki iz düşümü

Şekil 2.17'de verilen belli bir yükseklikten sonrası koni şeklinde olan binanın katlarına ait K, L ve M yüzeyleri yatay düzleme paraleldir. K, L ve M yüzeylerindeki kişilerin yere göre potansiyel enerjileri bulundukları yüzeyin her noktasında aynı büyüklükte olur. Benzer şekilde bir elektrik alanda da elektriksel potansiyelleri eşit noktaların oluşturduğu yüzeyler bulunur. Bu yüzeylere **eş potansiyel yüzeyler** denir. K, L ve M yüzeylerinin yatay düzlemdeki iz düşümü noktasal bir yük etrafındaki eş potansiyel yüzeylere benzer.

K, L ve M yatay düzlemlerinin herhangi birindeki cisim bulunduğu yüzeyin hangi noktasına götürülürse götürülsün cismin potansiyel enerjisi değişmez. Bu durumda cisim üzerine iş yapılmaz. Benzer şekilde yüklü bir tanecik aynı eş potansiyel yüzeydeki bir noktadan diğerine götürüldüğünde enerjisi değişmez. Bu durumda yük üzerinde iş yapılmaz.

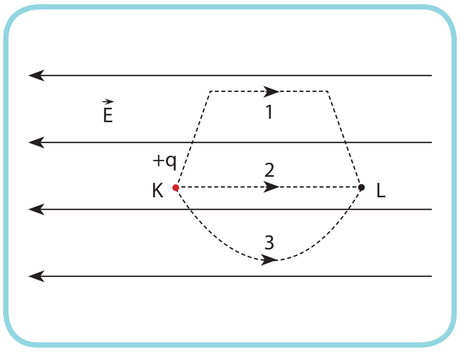


a) Noktasal yükün etrafındaki eş potansiyel yüzeyler

b) Farklı cins yüklerin etrafındaki eş potansiyel yüzeyler

Şekil 2.18: Noktasal yüklerin eş potansiyel yüzeyleri

Şekil 2.18.a'da noktasal yük etrafındaki eş potansiyel yüzeyler ile Şekil 2.18.b'de farklı cins ve aynı miktarda yüke sahip noktasal yükler etrafındaki eş potansiyel yüzeyler kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Kesikli çizgiler yükü saran yüzeyi temsil eder. Eş potansiyel yüzeyler ile elektrik alan çizgileri her zaman birbirine dik olur.



Şekil 2.19: Elektrik alan içindeki farklı potansiyelli noktalar arasında yükün hareketi

Şekil 2.19'daki gibi düzgün elektrik alandaki +q yüklü cisim, potansiyeli V_K olan bir K noktasından potansiyeli V_L olan bir L noktasına götürüldüğünde bu iki nokta arasındaki elektriksel potansiyel farkı

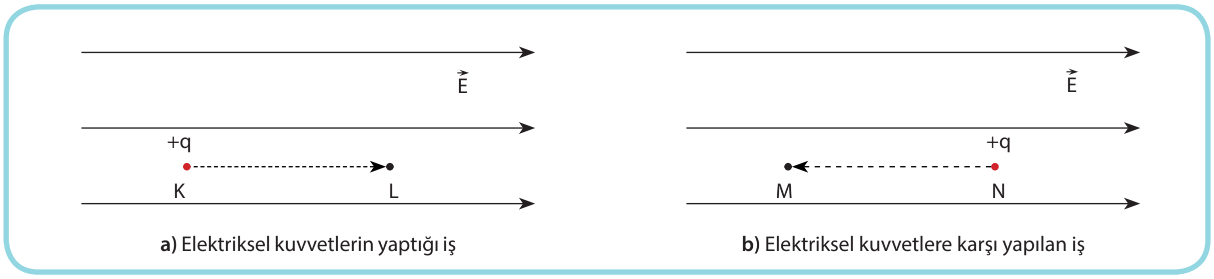
$V_{KL} = V_L - V_K$ ifadesi ile bulunur. q yükünü K noktasından L noktasına götürürken yapılan iş W ise

$V_{KL} = V_L - V_K = \frac{W}{q}$

$W = q\,(V_L - V_K)$ olur.

$V_L > V_K$ olduğundan $(V_L - V_K)$ farkı pozitif olur. Bu durumda yapılan iş (+) yükler için pozitif, (-) yükler için negatif olur.

+q yükü K noktasından L noktasına kesikli çizgilerle gösterilen 1, 2 ve 3 yolları gibi farklı yollardan götürülebilir. +q yükü K'den L'ye farklı yollardan getirilmiş olsa da iki nokta arasında yapılan iş aynıdır. Buna göre elektriksel potansiyel farkı ve yapılan iş yükün iki nokta arasında aldığı yoldan bağımsızdır.



Şekil 2.20: Düzgün elektrik alan içerisinde bir noktadan başka bir noktaya giden yükün yaptığı iş

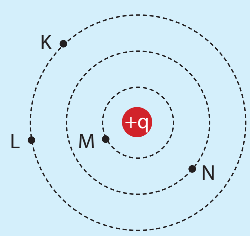
Şekil 2.20.a'da +q yükünün $\vec{E}$ alanıyla aynı yönde K'den L'ye gelmesi sırasında yük üzerinde iş yapan, elektriksel kuvvetlerdir. K ve L arasındaki elektriksel potansiyel farkı V_{KL} ile gösterilirse K ve L arasında elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş $W_{KL} = q \cdot V_{KL}$ olur. Elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş negatif olur ve sistemin elektriksel potansiyel enerjisini azaltır.

Şekil 2.20.b'de +q yükünün $\vec{E}$ alanına ters yönde, N noktasından M'ye getirilmesi sırasında elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. N ve M noktaları arasındaki elektriksel potansiyel farkı V_{NM} ile gösterilirse N ve M arasında elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş $W_{NM} = q \cdot V_{NM}$ olur. Elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş pozitif olur ve sistemin elektriksel potansiyel enerjisini arttırır.

12. ÖRNEK

Şekildeki noktasal +q yükü etrafındaki eş potansiyel yüzeylerin üçü kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

Buna göre yüzeyler üzerindeki K, L, M ve N noktalarının elektriksel potansiyellerini büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

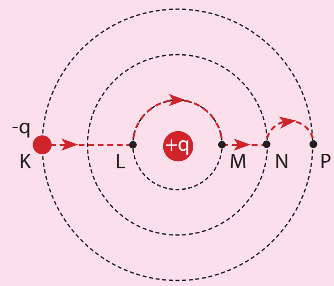


ÇÖZÜM

K ve L noktaları aynı eş potansiyel yüzeyde olduğundan elektriksel potansiyelleri de eşit olur. Eş potansiyel yüzeyler +q yükünden uzaklaştıkça yüzeylerin potansiyeli küçülür. Buna göre K, L, M ve N noktalarındaki elektriksel potansiyeller sırayla V_K, V_L, V_M ve V_N alınırsa $V_M > V_N > V_L = V_K$ olur.

15. ALIŞTIRMA

Şekildeki +q yükünün etrafındaki eş potansiyel yüzeylerin üçü kesikli çizgilerle gösterilmiştir. K noktasındaki –q yükü sırasıyla L, M, N ve P noktalarına taşınmıştır. Yükün takip ettiği yol, bu noktalar arasındaki oklarla gösterilmiştir.



Buna göre

a) **Yük taşınırken hangi noktalar arasında elektriksel kuvvetler iş yapar?**

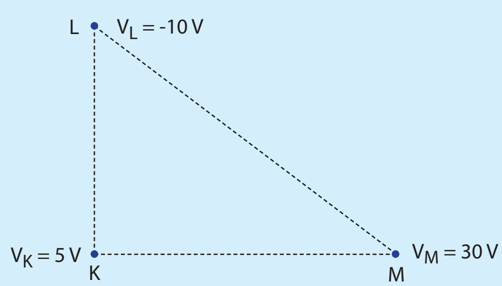
b) **Yük taşınırken hangi noktalar arasında elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır?**

c) **Yük taşınırken hangi noktalar arasında iş yapılmaz?**

ÇÖZÜM

13. ÖRNEK

Şekildeki üçgenin K, L ve M noktalarındaki elektriksel potansiyelin değerleri sırasıyla V_K, V_L ve V_M'dir.



Buna göre KL, LM ve MK aralıklarının elektriksel potansiyel farkı sırayla V_{KL}, V_{LM} ve V_{MK} kaç volt olur?

ÇÖZÜM

Noktalar arasındaki potansiyel farkı son konumdaki elektriksel potansiyelden ilk konumdaki elektriksel potansiyel çıkarılarak bulunur. Buna göre

$V_{KL} = V_L - V_K = -10 - 5 = -15\ V$

$V_{LM} = V_M - V_L = 30 - (-10) = 40\ V$

$V_{MK} = V_K - V_M = 5 - 30 = -25\ V$ olur.

14. ÖRNEK

$2x10^{-3}$ C'luk noktasal bir yükü K noktasından L noktasına götürmek için elektriksel kuvvetlere karşı 6 J iş yapılmaktadır.

Buna göre K ve L noktalarının potansiyel farkı kaç V olur?

ÇÖZÜM

K ve L noktaları arasında yapılan iş

$W_{KL} = q \cdot V_{KL} \implies 6 = 2x10^{-3} \cdot V_{KL} \implies V_{KL} = 3x10^{3} = 3\,000\ V$ olur.

16. ALIŞTIRMA

Bir yükün, elektriksel potansiyel farkı olan bir noktadan diğerine taşınması sırasında yapılan elektriksel iş, bir kitabın bir raftan diğerine taşınması sırasında yapılan işe benzer.

Buna göre noktasal yükler incelenirken kullanılan elektriksel potansiyel, elektriksel potansiyel enerji, elektriksel potansiyel farkı ve eş potansiyel yüzeylere benzer başka fiziksel durumlara örnek veriniz.

ÇÖZÜM

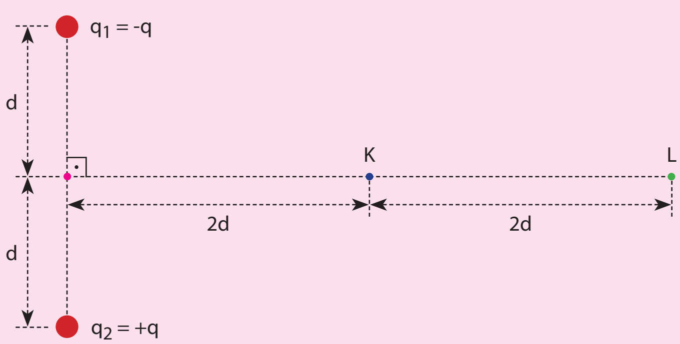
17. ALIŞTIRMA

q_1 ve q_2 yükleri şekilde verilen konumlarında sabitlenmiştir.

Buna göre

a) K ve L noktalarının elektriksel potansiyelleri arasındaki fark kaç V olur?

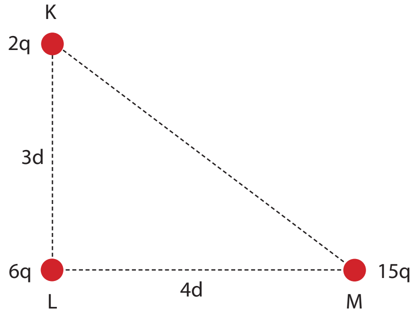
b) Bir q yükünü K noktasından L noktasına götürürken yapılacak işin değeri ne olur?



ÇÖZÜM

2. BÖLÜM SONU SORULARI

1. L noktasındaki 6q yükünün, K noktasındaki 2q yükünün etkisiyle sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji 20 J'dür.



Buna göre M noktasındaki 15q yükünün K noktasındaki 2q yükünün etkisiyle sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji kaç J olur?

ÇÖZÜM

2. Yükü $2x10^{-5}$ C olan noktasal parçacığı K noktasından L noktasına götürmek için yapılan iş 10 J'dür.

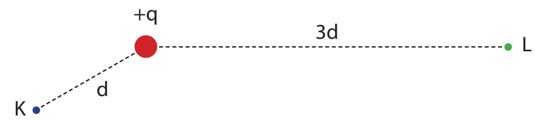
Buna göre bu iki noktanın elektriksel potansiyel farkı kaç V olur?

ÇÖZÜM

3. Yüklü bir tanecik etrafında elektriksel potansiyeli eşit olan noktalar var mıdır? Varsa özellikleri nelerdir?

ÇÖZÜM

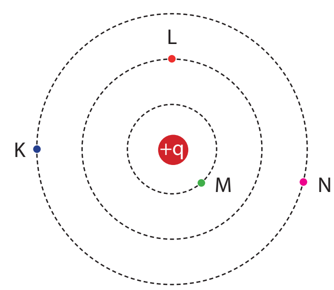
4. K ile L noktaları +q yükünden sırasıyla d ve 3d uzaklıktadır. +q yükünün K noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel 9 V'tur.



Buna göre K ile L noktaları arasındaki elektriksel potansiyel farkı kaç V olur?

ÇÖZÜM

5. Noktasal +q yükünün etrafında eşit aralıklarla sıralanmış eş potansiyel yüzeylerin üzerinde K, L, M ve N noktaları verilmiştir. +q yükünün L noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyelin değeri 15 V'tur.



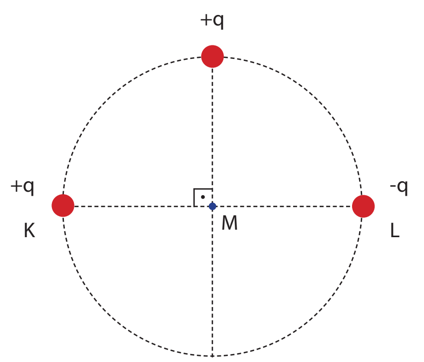
Buna göre

a) K ve N noktalarının elektriksel potansiyel farkı kaç V olur?

b) M ve N noktalarının elektriksel potansiyel farkı kaç V olur?

ÇÖZÜM

6. Üç yük şekildeki gibi yalıtkan yüzeydeki çembersel çizgi üzerine yerleştirilmiştir. Bu durumda yüklerin çemberin merkezindeki M noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan şiddeti $\vec{E}$, elektriksel potansiyeli V ve sistemin elektriksel potansiyel enerjisi E_p'dir.



K ve L noktalarındaki yüklerin yerleri değiştirildiğinde

a) M noktasındaki bileşke elektrik alanın
b) M noktasındaki elektriksel potansiyelin
c) Sistemin elektriksel potansiyel enerjisinin

ilk duruma göre nasıl değiştiğini açıklayınız.

ÇÖZÜM

7. Yüklü bir cismin elektriksel potansiyelinin yüksek olması, cismin elektriksel potansiyel enerjisinin de yüksek olduğu anlamına gelir mi? Açıklayınız.

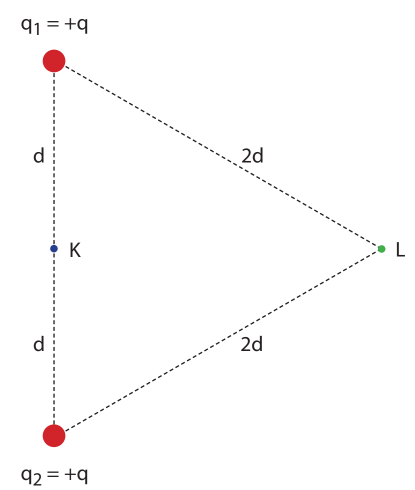
ÇÖZÜM

8. Yükü $8x10^{-5}$ C olan noktasal parçacığın bulunduğu noktada sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji 40 J'dür.

Buna göre yükün bulunduğu noktadaki elektriksel potansiyel kaç V olur?

ÇÖZÜM

9. q_1 ve q_2 yüklerinin K noktasına uzaklıkları d, L noktasına uzaklıkları 2d'dir.



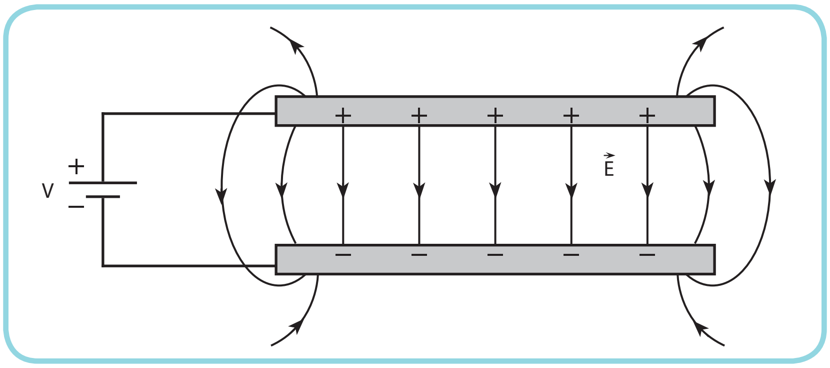
Buna göre +q yüklü bir parçacık L den K'ye getirilirken elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş kaç $k\frac{q^2}{d}$ olur?

ÇÖZÜM

2.3. DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SIĞA

A) YÜKLÜ, İLETKEN VE PARALEL LEVHALAR ARASINDA OLUŞAN ELEKTRİK ALAN

Noktasal bir yükün etrafında oluşan elektrik alan her noktada farklı yön ya da doğrultuda olabildiği için düzgün bir elektrik alan oluşturmaz. Elektrik alan özellikleri her noktasında aynı olan alanlara **düzgün elektrik alan** denir.



Şekil 2.21: Paralel levhalar arasında düzgün elektrik alan

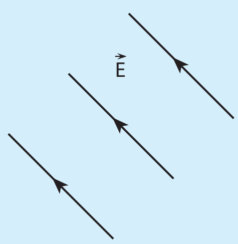
Özdeş, iletken ve paralel iki levhadan biri üretecin (+) diğeri (-) kutbuna iletken tellerle bağlanarak yüklenirse levhalar arasında düzgün elektrik alan oluşur. Yüklenen iki levhanın potansiyel farkı üretecin kutupları arasındaki potansiyel farkına eşit olur. Oluşan elektrik alanın şiddeti, levhalar arasındaki her noktada aynıdır. Elektrik alan çizgileri (+) yüklü levhadan (–) yüklü levhaya doğrudur (Şekil 2.21).

Alan çizgileri, çıktıkları ve son buldukları yüzeye daima diktir. Elektrik alan çizgileri birbirine paralel ve eşit aralıklarla çizilerek modellenir. Alan çizgilerinin düzgünlüğü levhaların uç kısımlarına doğru bozulur ancak problem çözümlerinde levhalar arasındaki elektrik alan düzgün kabul edilir.

15. ÖRNEK

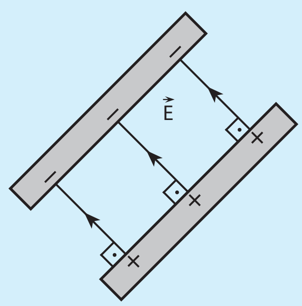
İki paralel levha arasında oluşan düzgün elektrik alana ait çizgileri modeli şekildeki gibidir.

Buna göre levhaların yerini çizerek elektrik yüklerinin işaretlerini levhalar üzerinde gösteriniz.



ÇÖZÜM

Elektrik alan (+) yükten (-) yüke doğru ve levhalara dik olduğundan levhalar şekilde gösterildiği gibi çizilir.

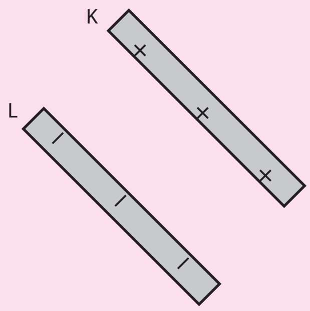


18. ALIŞTIRMA

(+) yüklü K ve (-) yüklü L levhaları arasında düzgün elektrik alan oluşmaktadır.

Buna göre K ve L levhaları arasında oluşan elektrik alan yönünü şekil üzerinde çiziniz.

ÇÖZÜM

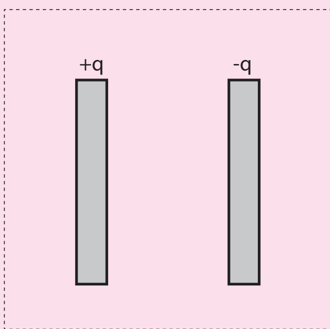


19. ALIŞTIRMA

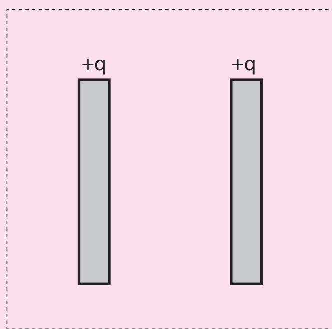
Şekil I, Şekil II, Şekil III ve Şekil IV'teki gibi yük sistemleri oluşturulmuştur.

Buna göre sistemlerde oluşan elektrik alan yönünü şekiller üzerine çizerek hangisinde düzgün elektrik alan oluşacağını belirleyiniz.

ÇÖZÜM



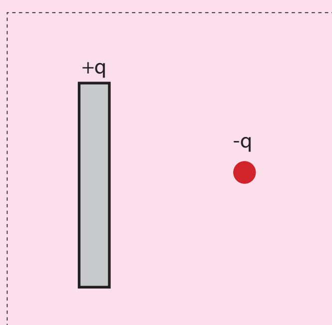
Şekil I



Şekil II



Şekil III



Şekil IV

B) YÜKLÜ, İLETKEN VE PARALEL LEVHALAR ARASINDA OLUŞAN ELEKTRİK ALANIN BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER

SİMÜLASYON VAR

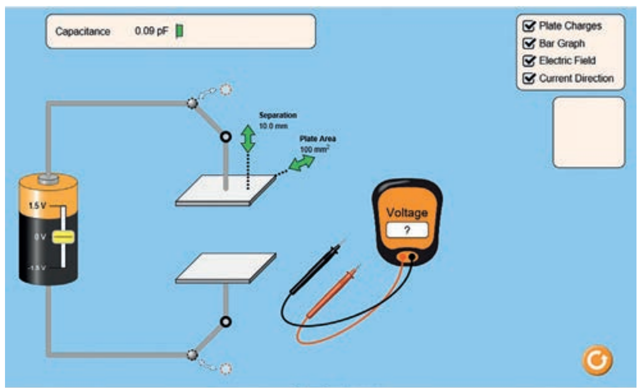
Simülasyon 2.1: Yüklü, İletken ve Parelel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanın Bağlı Olduğu Değişkenler

Simülasyonun Amacı

Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında oluşan elektrik alanın bağlı olduğu değişkenleri incelemek

Verilen karekodu okutarak simülasyonu açınız.

Simülasyonun Uygulanışı

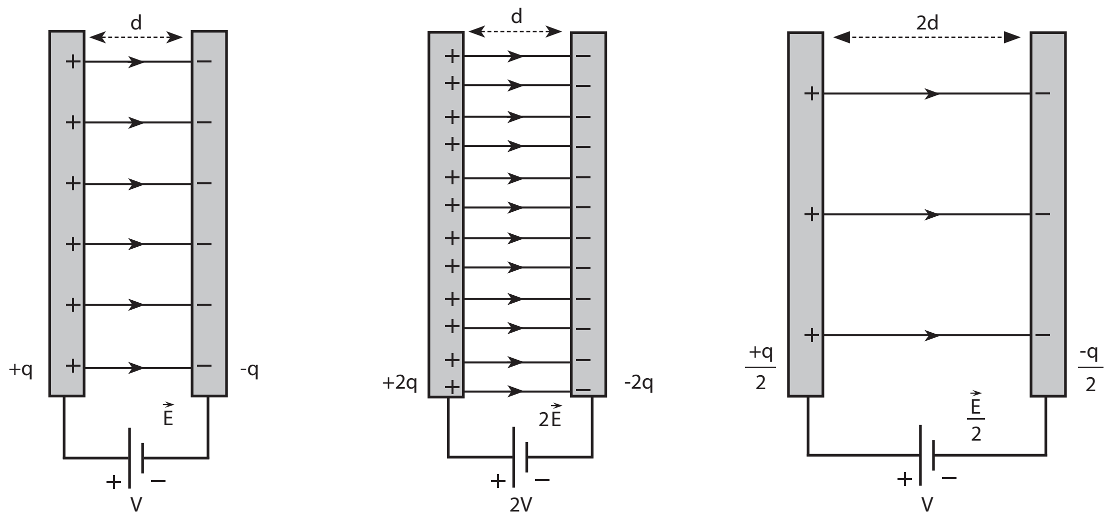


1. Ekran görüntüsündeki sağ üst köşede görünen kutucukların hepsinin seçili olmasını sağlayınız.
2. Pilin üzerindeki sarı parçayı aşağı ya da yukarı yönde hareket ettirerek potansiyel farkı sağlayınız ve levhalar arasında elektrik alan oluşturunuz. Oluşan elektrik alan çizgilerini gözlemleyiniz.
3. Elektrik alanı oluşturduktan sonra voltmetreyi kullanarak levhaların arasındaki potansiyel farkı ölçünüz ve okuduğunuz değeri not ediniz. Bunun için voltmetrenin kablolu uçlarını levhalara değdirmeniz yeterlidir.
4. Pilin potansiyel farkını değiştirerek voltmetreyle ölçüm işlemini tekrar yapınız ve okuduğunuz değeri not ediniz. Oluşan elektrik alan çizgilerini gözlemleyiniz.
5. Pilin potansiyel farkını sabit tutarak levhalar arasındaki uzaklığı, simülasyondaki okları kullanarak değiştiriniz. Elektrik alanda bir değişim olup olmadığını gözlemleyiniz.
6. Levhalar arasındaki uzaklığın değişmesi durumunda levhalar arasındaki potansiyel farkı voltmetre ile ölçüp değeri not ediniz.
7. Pilin potansiyel farkını sabit tutarak levhaların büyüklüğünü, simülasyondaki okları kullanarak değiştiriniz. Elektrik alanda bir değişim olup olmadığını gözlemleyiniz.
8. Levhaların büyüklüğünün değişmesi durumunda levhalar arasındaki potansiyel farkı voltmetre ile ölçüp değeri not ediniz.
9. Levhaların pil ile olan bağlantısını kesiniz.
10. Levhalar arasındaki uzaklığı, simülasyondaki okları kullanarak arttırınız. Elektrik alanda bir değişim olup olmadığını gözlemleyiniz.
11. Levhalar arasındaki uzaklığı arttırarak potansiyel farkı voltmetre ile ölçüp değeri not ediniz.

Simülasyon 2.1'in devamı

Değerlendirme

1. Pilin potansiyel farkını değiştirdiğinizde elektrik alan çizgilerinin sayısında ve voltmetrede okuduğunuz değerde nasıl bir değişiklik oldu?
2. Pilin potansiyel farkı sabitken levhalar arasındaki uzaklığı değiştirdiğinizde elektrik alan çizgilerinin sayısında ve voltmetrede okuduğunuz değerde nasıl bir değişiklik oldu?
3. Pilin potansiyel farkı sabitken levhaların büyüklüğünü değiştirdiğinizde elektrik alan çizgilerinin sayısında ve voltmetrede okuduğunuz değerde nasıl bir değişiklik oldu?
4. Levhaları pilden ayırıp aralarındaki uzaklığı arttırdığınızda elektrik alan çizgilerinde ve potansiyel farkında nasıl bir değişiklik oldu?
5. Yüklü paralel levhalar arasındaki elektrik alan hangi değişkenlere bağlıdır?



a) Aralarındaki uzaklık d ve potansiyel farkı V olan paralel levhalar

b) Aralarındaki uzaklık d ve potansiyel farkı 2V olan paralel levhalar

c) Aralarındaki uzaklık 2d ve potansiyel farkı V olan paralel levhalar

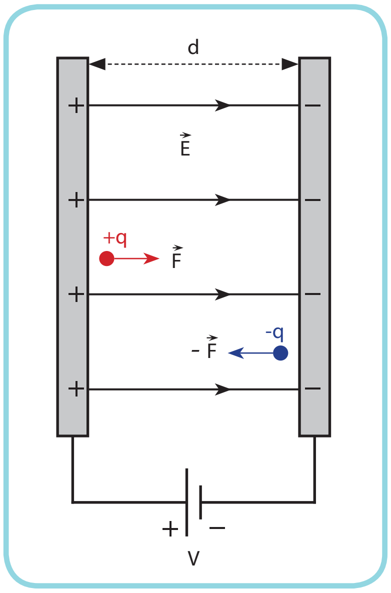
Şekil 2.22: Aralarındaki potansiyel farkı ve uzaklığı değiştirilen paralel levhalar

Aralarındaki uzaklık d kadar olan paralel levhalar, potansiyel farkı V olan üretece bağlanırsa levhalar arasındaki potansiyel fark üretecinkine eşit olana kadar levhalar +q ve –q yükleri ile yüklenir (Şekil 2.22.a). Buna göre levhalar arasındaki elektrik alan E büyüklüğünde olur.

Levhalar arasındaki uzaklık değiştirilmeden potansiyel farkı 2V olan bir üretece bağlanırsa potansiyel fark arttığı için levhaların yükü de iki katına çıkarak 2q olur. Bu durumda iki katına çıkan yüklerin oluşturduğu elektrik alan 2E büyüklüğünde olur ve elektrik alan çizgileri de iki katına çıkar. Buna göre elektrik alan, potansiyel farkı ile doğru orantılıdır (Şekil 2.22.b).

Levhalar arasındaki uzaklık iki katına çıkarılarak potansiyel farkı V olan bir üretece bağlanırsa levhaların yükü $\frac{q}{2}$ olur. Bu durumda elektrik alanın büyüklüğü $\frac{E}{2}$ olur ve elektrik alan çizgileri yarıya düşer. Buna göre elektrik alan, levhalar arasındaki uzaklık ile ters orantılıdır (Şekil 2.22.c).

Bu ifadelere göre $E = \frac{V}{d}$ olur.



Şekil 2.23: Paralel levhalar arasında yüklü cisimlere etkiyen kuvvetler

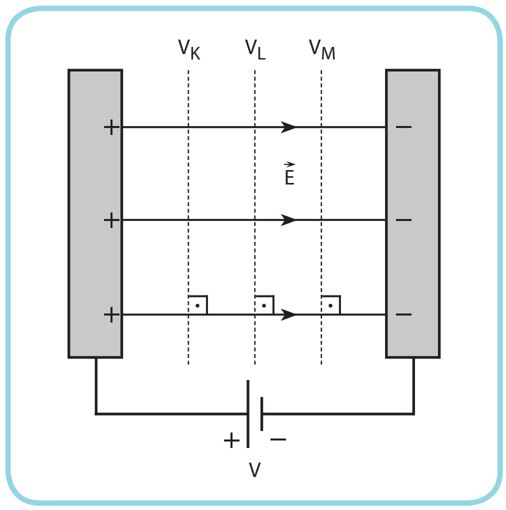
Düzgün elektrik alan içindeki yüklü cisme etki eden elektriksel kuvvetin yönü, elektrik alanın doğrultusuna daima paraleldir. (+) yüklü cisme elektrik alan yönünde, (-) yüklü cisme elektrik alana zıt yönde kuvvet etki eder. Sürtünme ve yer çekimi kuvvetinin ihmal edildiği ortamdaki yüklü cisimler elektriksel kuvvet yönünde hareket eder. +q yüklü parçacık, yüklü levhalar arasına bırakıldığında (+) yüklü levhadan (-) yüklü levhaya doğru hareket eder. Elektrik alan içindeki yüklü cismi harekete geçiren elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$F = q \cdot E = q \dfrac{V}{d}$ olur (Şekil 2.23).

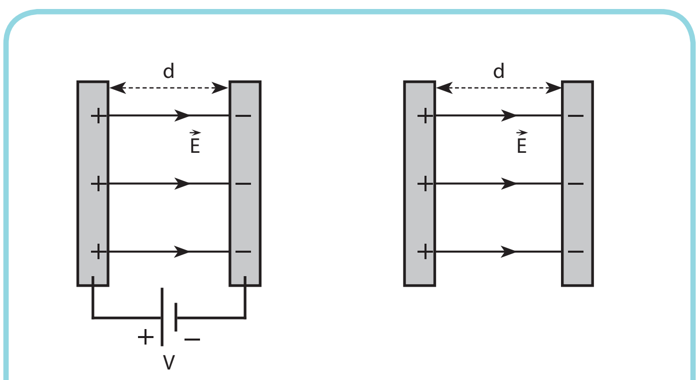
Yükün bir levhadan diğerine taşınması sırasında elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş

$W = F \cdot d = q \cdot E \cdot d = q \cdot V$ olur.

Elektriksel potansiyel, skaler bir büyüklüktür. Bu nedenle levhalar arasındaki herhangi bir noktanın elektriksel potansiyeli, (+) yüklü levhadan (-) yüklü levhaya gidildikçe azalır. Bir levhaya eşit uzaklıkta olan noktalar aynı elektriksel potansiyele sahip olur. Elektriksel potansiyelleri eşit olan bu noktaların oluşturduğu yüzeyler paralel levhalar arasındaki eş potansiyel yüzeylerdir. Şekil 2.24'teki üç eş potansiyel yüzeyin elektriksel potansiyelleri V_K, V_L ve V_M'dir. Bu elektriksel potansiyellerin büyüklük ilişkisi $V_K > V_L > V_M$ olur.



Şekil 2.24: Paralel levhalar arasındaki eş potansiyel yüzeyler



a) Üretece bağlı paralel levhalar

b) Üreteçle bağlantısı kesilmiş yüklü paralel levhalar

Şekil 2.25: Üretece bağlı olan ve bağlantısı kesilen yüklü paralel levhalar

Paralel levhalar bir üretece bağlanırsa levhaların potansiyel farkının sabit kalması sağlanır (Şekil 2.25.a). Levhalar yüklendikten sonra üreteçle bağlantısı kesilirse elektriksel olarak yalıtılmış levhalardaki yük miktarları sabit kalır. Levhalar arasındaki elektrik alan çizgi sayısı ve elektrik alanın değeri değişmez (Şekil 2.25.b). Bu levhalar birbirinden uzaklaştırılırsa zıt yüklü oldukları için elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Yapılan bu iş, sisteme elektriksel potansiyel enerji olarak aktarılır. Bu nedenle üretece bağlı olmayan levhalar birbirinden uzaklaştırıldığında levhaların potansiyel farkı artar.

16. ÖRNEK

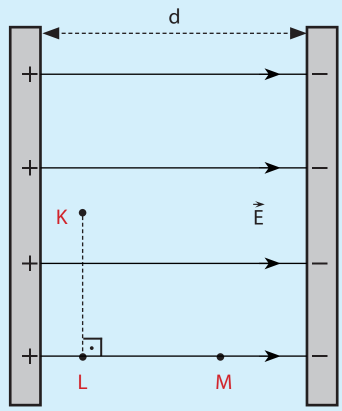
Şekildeki paralel levhaların bir üreteçle yüklendikten sonra üreteçle olan bağlantısı kesilmiştir.

Buna göre

a) K, L ve M noktalarının elektriksel potansiyellerini büyüklüklerine göre sıralayınız.

b) K, L ve M noktalarındaki elektrik alanları büyüklüklerine göre sıralayınız.

c) Levhalar birbirine yaklaştırılırsa levhalar arasındaki elektrik alan ve levhaların potansiyel farkı nasıl değişir?



ÇÖZÜM

a) K ile L noktaları eş potansiyel yüzeylerdedir. M noktası (-) yüklü levhaya daha yakın olduğundan elektriksel potansiyeli K ve L noktalarından küçüktür. Buna göre $V_K = V_L > V_M$ olur.

b) Paralel levhalar arasındaki elektrik alan her yerde aynı değerdedir. Buna göre $E_K = E_L = E_M$ olur.

c) Levhalar yaklaştırıldığında levhalar üretece bağlı olmadığı için yük miktarı ve levhalar arasındaki elektrik alan değişmez. $E = \frac{V}{d}$ eşitliğine göre elektrik alan sabit olduğu için levhalar arasındaki uzaklık azaltılırsa levhaların potansiyel farkı da azalır.

20. ALIŞTIRMA

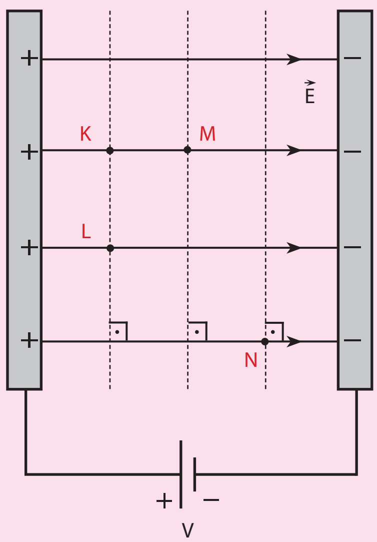
Şekildeki paralel levhalar bir üreteçle bağlanarak yüklenmiştir.

Buna göre

a) K, L, M ve N noktalarının elektriksel potansiyellerini büyüklüklerine göre sıralayınız.

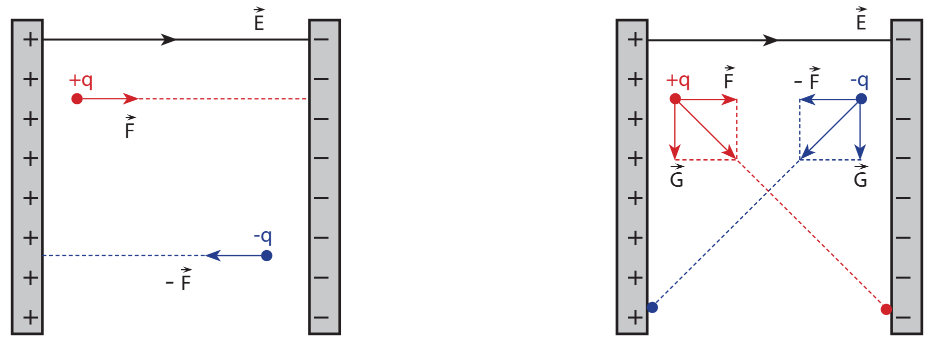
b) K, L, M ve N noktalarındaki elektrik alanları büyüklüklerine göre sıralayınız.

c) Levhalar birbirine yaklaştırılırsa levhalar arasındaki elektrik alan ve levhaların potansiyel farkı nasıl değişir?



ÇÖZÜM

C) YÜKLÜ PARÇACIKLARIN DÜZGÜN ELEKTRİK ALANDAKİ HAREKETİ

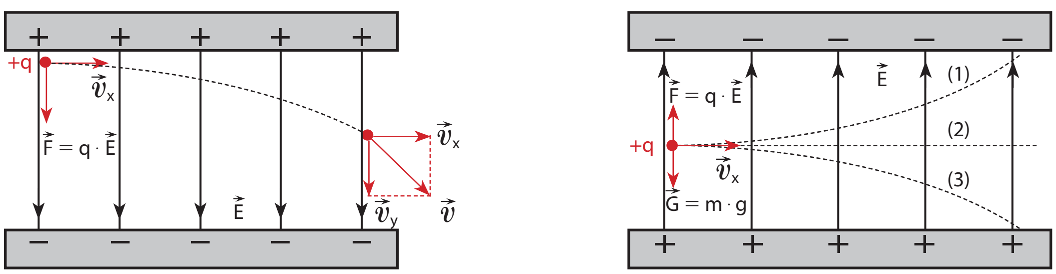


a) Elektrik alanda serbest bırakılan ağırlığı ihmal edilen cisme etkiyen elektriksel kuvvet

b) Elektrik alanda serbest bırakılan ağırlıklı cisme etkiyen elektriksel kuvvet

Şekil 2.26: Elektrik alanda serbest bırakılan ağırlığı ihmal edilen ve ağırlıklı cisimlere etkiyen elektriksel kuvvet

Düzgün elektrik alan içindeki yüklü parçacığa $F = q \cdot E$ büyüklüğünde bir elektriksel kuvvet etki etmektedir. Düzgün elektrik alan içindeki yüksüz cisimlere ise elektriksel kuvvet etki etmez. Sürtünmesi ihmal edilen düşey düzlemdeki yüklü paralel levhalar arasında oluşan elektrik alana bırakılan +q ve -q yüklü cisimler elektrik alan çizgilerine paralel olarak hareket eder (Şekil 2.26.a). Levhalar arasına bırakılan $\vec{G}$ ağırlığına sahip yüklü tanecikler elektriksel kuvvet ve ağırlığın bileşkesi doğrultusunda hareket eder (Şekil 2.26.b).



a) Elektrik alana dik fırlatılan +q yüklü ağırlığı ihmal edilen cisme etkiyen kuvvetler

b) Elektrik alana dik fırlatılan +q yüklü ve ağırlıklı cisme etkiyen kuvvetler

Şekil 2.27: Elektrik alana dik fırlatılan +q yüklü cisimlere etkiyen kuvvetler

Ağırlığı ihmal edilen +q yüklü cisim, düşey düzlemdeki yüklü levhaların arasındaki elektrik alana dik olarak yatay $\vec{v}_x$ hızı ile fırlatıldığında bu cisme sadece elektriksel kuvvet etki eder. Yüklü cisim, elektrik alan içinde yatay atış hareketi yapar. İzlediği yörünge paraboliktir. Alana dik olan $\vec{v}_x$ hızı hareket boyunca sabittir. Elektriksel kuvvetin etkisiyle oluşan $\vec{v}_y$ hızı ise sabit ivme etkisinde sürekli artar. Cismin herhangi bir andaki hızı, bu iki hızın bileşkesidir (Şekil 2.27.a).

Ağırlığı $\vec{G}$ olan +q yüklü cisim, düşey düzlemdeki yüklü levhaların arasına elektrik alana dik olarak yatay $\vec{v}_x$ hızı ile fırlatıldığında bu cisme iki kuvvet etki eder. Bu kuvvetlerden biri cismin ağırlığı, diğeri elektriksel kuvvettir. Cismin izleyeceği yörüngeyi, cismin ağırlığı ile elektriksel kuvvet arasındaki büyüklük ilişkisi belirler. Yüklü cisim, Şekil 2.27.b'de gösterildiği gibi

$F > G$ ise (1) ile gösterilen parabolik yörüngede hızlanarak,

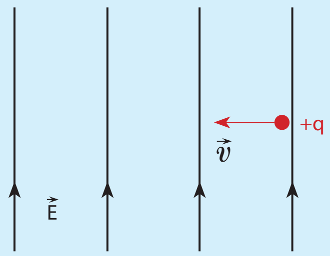
$F = G$ ise (2) ile gösterilen doğrusal yörüngede sabit hızla,

$G > F$ ise (3) ile gösterilen parabolik yörüngede hızlanarak ilerler.

17. ÖRNEK

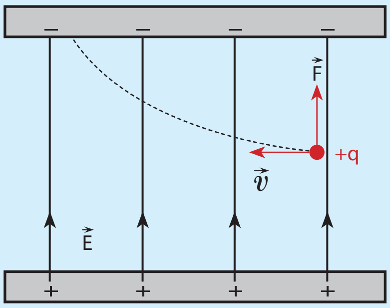
Şekildeki düzgün elektrik alan sürtünmelerin önemsenmediği ortamdadır. Ağırlığı ihmal edilen +q yüklü parçacık düzgün elektrik alana dik olarak yatay $\mathcal{v}$ büyüklüğündeki hızla fırlatılmıştır.

Buna göre +q yüklü parçacığın hareketi sırasında izleyeceği yörüngeyi çiziniz.



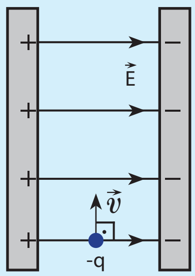
ÇÖZÜM

+q yüklü parçacığa elektrik alan yönünde kuvvet etki eder. Yüklü parçacık (-) yüklü levhaya doğru şekildeki gibi parabolik bir yörünge izler.



18. ÖRNEK

Ağırlığı ihmal edilen -q yüklü parçacık, sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda iki levhaya eşit uzaklıktaki noktadan $\vec{v}$ büyüklüğünde hızla elektrik alana dik olarak fırlatılmıştır. Aynı -q yüklü parçacık, elektrik alanın düzgünlüğü bozulmayacak şekilde levhalar birbirinden uzaklaştırıldıktan sonra yine levhalara eşit uzaklıktaki noktadan alana dik ve $\vec{v}$ hızıyla fırlatılmaktadır.



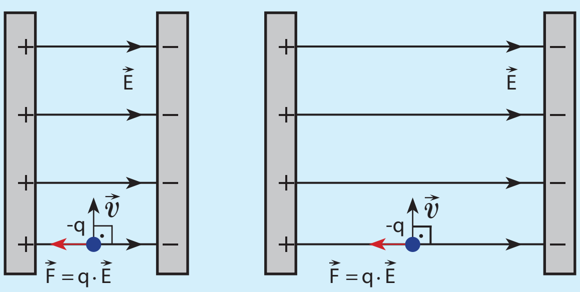
Buna göre

a) Birbirinden uzaklaştırılan levhalar arasındaki elektrik alanı çiziniz.

b) Levhalar birbirinden uzaklaştırılmadan önce ve uzaklaştırıldıktan sonra yüklü parçacığa etki eden kuvvetlerin yönünü ve büyüklüğünü karşılaştırınız.

ÇÖZÜM

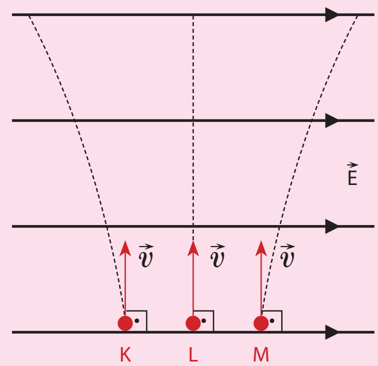
a) Levhalar birbirinden uzaklaştırılsa da yükün gideceği veya geleceği bir üreteç olmadığı için yük miktarı değişmez. Bu durumda alan çizgilerinin sayısı dolayısıyla elektrik alanın büyüklüğü değişmez.



b) Yük ve elektrik alanın büyüklüğü değişmediğinden yüklere etki eden kuvvet $F = q \cdot E$ büyüklüğünde olur. Yükün işareti (-) olduğundan kuvvet, levhalara dik ve (+) yüklü levhaya doğrudur.

21. ALIŞTIRMA

Ağırlığı ihmal edilen K, L ve M parçacıkları düzgün elektrik alana dik olarak $\mathcal{v}$ büyüklüğündeki hızlarla fırlatıldığında şekildeki yörüngeleri izlemektedirler.



Buna göre

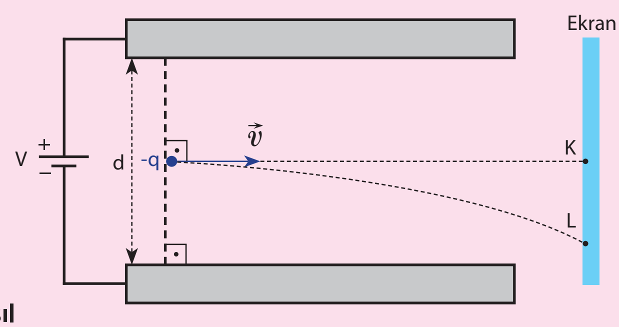
a) **Düzgün elektrik alanı oluşturan levhaları çizerek yük işaretlerini üzerinde gösteriniz.**

b) **K, L ve M parçacıklarının yük işaretlerini belirleyiniz.**

ÇÖZÜM

22. ALIŞTIRMA

Levhalar sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda ve birbirinin düşeyinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. -q yüklü bir parçacık paralel levhalar arasına K noktasına doğru $\mathcal{v}$ büyüklüğünde hızla fırlatıldığında L noktasına çarpmaktadır.



Buna göre yükün K noktasına çarpması için

a) **Levhalar arasındaki d uzaklığında nasıl bir değişiklik yapılabilir?**

b) **Levhalar arasındaki potansiyel farkı V'de nasıl bir değişiklik yapılabilir?**

ÇÖZÜM

ARAŞTIRMA KONUSU

Yüklü parçacıkların elektrik alandaki davranışının teknolojideki kullanım alanları ile ilgili bir araştırma yapınız. Araştırma sonuçlarınızı sınıf ortamında arkadaşlarınıza sunum yaparak paylaşınız.

Ç) SIĞA (KAPASİTE)

Bir bardak ya da sürahi ancak hacimleri kadar su ile doldurulabilir. Hacimlerinden fazla su ilave edildiğinde taşar. Kapların alabileceği su miktarı, kapasitelerini belirler. Sürahinin hacmi bardaktan büyük olduğu için kapasitesi de daha fazladır (Görsel 2.2). Benzer şekilde maddeler de elektrik yükü depolayabilir. Maddeleri sonsuz büyüklükte yükle yüklemek imkânsızdır. Maddelerin belirli miktarda yük alabilme kapasiteleri vardır. İletken maddelerin yük depolayabilme ölçüsüne **sığa** (**kapasite**) denir. Bu durumda iletkende biriken yük miktarı, iletkenin sığası ile doğru orantılıdır. Sığa **C** sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **farad**dır (**F**).



Görsel 2.2: Bardak ve sürahi

Günlük yaşantıda enerjinin depolanması büyük önem taşımaktadır. Farklı yöntemlerle iletkenlerde yük depolanabilir. Yük depo edebilmenin yöntemlerinden biri paralel iki levha kullanmaktır. Levhalar üretece bağlanarak yüklenir. Yükleme işlemi bittikten sonra üreteçten ayrılan levhaların yükleri, üzerlerinde kalır. Bu şekilde levhalara yük ve dolayısıyla enerji depolanmış olur. Levhalar bir üretece bağlı ise depolanan yük miktarı, levhaların sığası ve bağlı olduğu üretecin potansiyel farkı ile doğru orantılı olur.

19. ÖRNEK

Sığası C olan paralel ve iletken iki levha bir üretece bağlandığında her bir levhada q büyüklüğünde yük depolanmaktadır.

Buna göre aynı üretece sığası 5C olan paralel ve iletken iki levha bağlanırsa her bir levhada depolanan yükün büyüklüğü kaç q olur?

ÇÖZÜM

Aynı üretece bağlıyken her bir levhada biriken yük miktarı sığa ile doğru orantılı olduğundan levhaların yükü 5q olur.

23. ALIŞTIRMA

Sığa kavramını günlük hayattan örneklerle açıklayınız.

ÇÖZÜM

D) SIĞANIN BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER

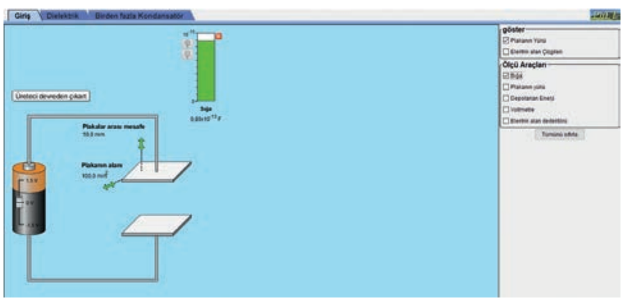
SİMÜLASYON VAR

Simülasyon 2.2: Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler

Simülasyonun Amacı

Sığanın bağlı olduğu değişkenleri incelemek

Verilen karekodu okutarak simülasyonu açınız. Ekranın sağındaki ölçü araçları menüsünden "Sığa" bölümünü seçiniz. Ekranda çıkan devrede pilin gerilimi, parelel levhaların alanı ve levhalar arasındaki mesafe ayarlanabilmektedir. Bu amaçla pilin üzerindeki kaydırma çubuğunu ve levhaların üzerindeki okları sürüklemek yeterlidir. Ekranın üst kısmında ise parelel levhaların sığası hem sayısal hem de sütun grafiği şeklinde gösterilmektedir.

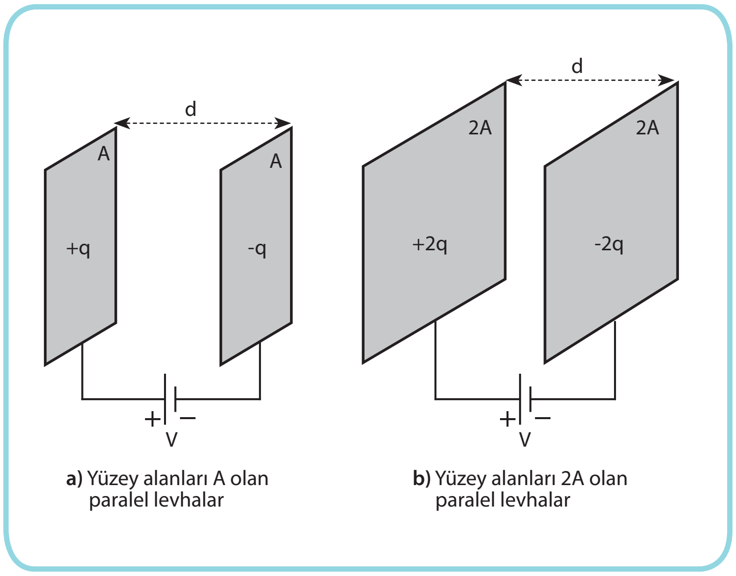


Simülasyonun Uygulanışı

1. Pilin gerilimini 1,5 V'a ayarlayarak levhaların yüklenmesini sağlayınız.
2. Levhaların alanını arttırıp azaltarak sığanın ne şekilde değiştiğini gözlemleyiniz.
3. Levhalar arası mesafeyi arttırıp azaltarak sığanın ne şekilde değiştiğini gözlemleyiniz.
4. Ekranın üst kısmındaki "Dielektrik" sekmesini açınız. Yan taraftaki menüden "Sığa" bölümünü seçiniz. Pilin gerilimini 1,5 V'a ayarlayınız. Levhalar arasına yerleştirilen yalıtkan bir malzeme ekrana çıkacaktır.
5. Levhalar arası boşken sığa değerini not ediniz. Malzemeyi levhalar arasına yerleştirerek sığa değerini not ediniz. Her iki durumdaki değerleri karşılaştırınız.
6. Ekranın sağındaki menüden malzemenin cinsini değiştirerek diğer malzemeleri sırasıyla levhalar arasına yerleştiriniz. Her malzeme için sığa değerini not ederek sonuçları karşılaştırınız.

Değerlendirme

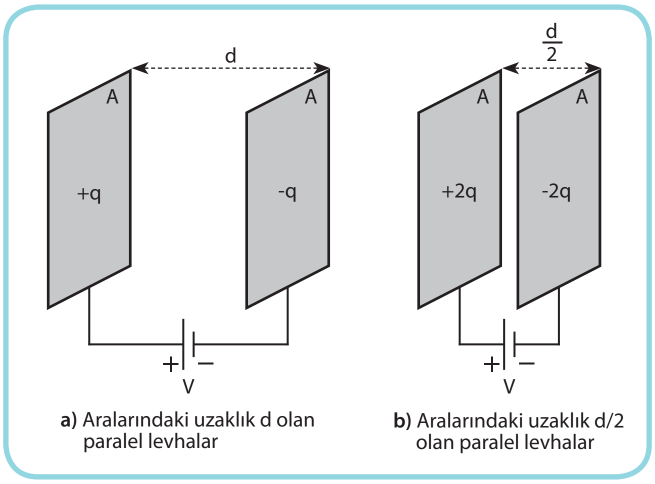
1. Levhaların alanını değiştirdiğinizde sığada nasıl bir değişiklik oldu?
2. Levhalar arası mesafeyi değiştirdiğinizde sığada nasıl bir değişiklik oldu?
3. Levhaların arasındaki ortamı değiştirdiğinizde sığada nasıl bir değişiklik oldu?
4. Simülasyondaki gözlemlerinizden yola çıkarak levhaların yüzey alanı A, levhalar arası uzaklığı d, levhalar arasındaki ortamın elektriksel geçirgenliği ε olan parelel levhalarının sığasına ait matematiksel modeli çıkarınız.



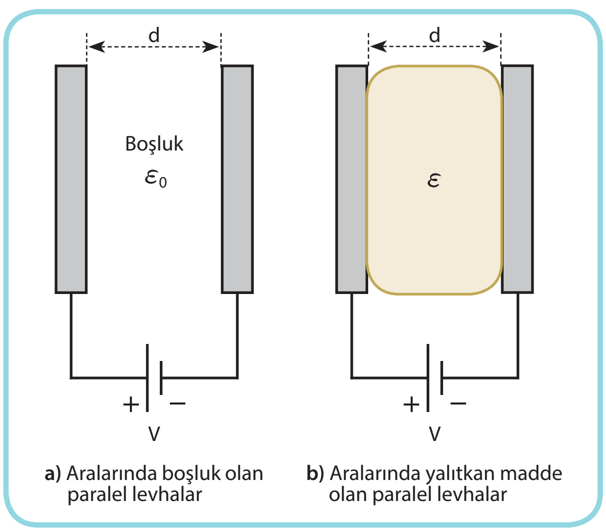
Şekil 2.28: Levhaların yüzey alanlarının değiştirilmesi

Yüzey alanları A olan paralel iki levha, aralarındaki uzaklık d olacak şekilde yerleştirilerek potansiyel farkı V olan üretece bağlandığında levhalarda yük depolanır. Üretecin (+) kutbuna bağlanan levhada +q kadar yük depolanırsa (-) kutbuna bağlanan levhada -q kadar yük depolanır (Şekil 2.28.a). Sadece plakaların yüzey alanları iki katına çıkarıldığında levhalar arasındaki potansiyel farkının korunması için levhalar üzerindeki yük yoğunluğunun değişmemesi gerekir. Bu nedenle üreteç, levhalara yük sağlayarak levhalar üzerindeki yükü iki katına çıkartır. Böylece sistemde depolan yük, dolayısıyla sığa iki katına çıkmış olur (Şekil 2.28.b). Buna göre sığa, iletkenin alanı ile doğru orantılı olarak değişir.

Yüzey alanları A, aralarındaki uzaklık d olan paralel levhalar potansiyel farkı V olan üreteçle yüklendikten sonra paralel levhalar arasındaki uzaklık d/2 olacak şekilde birbirine yaklaştırıldığında elektriksel kuvvetler iş yapar ve bu durum sistemin potansiyel enerjisini azaltır. Bu nedenle levhaların potansiyel farkı düşer. Üreteç levhaların potansiyel farkını kendi potansiyel farkına eşitlemek için levhalara yük sağlar ve levhaların yükü iki katına çıkar. Böylece sistemde depolanan yük, dolayısıyla sığa, iki katına çıkmış olur (Şekil 2.29). Buna göre sığa levhaların arasındaki uzaklık ile ters orantılı olarak değişir.



Şekil 2.29: Levhaların aralarındaki uzaklığın değiştirilmesi



Şekil 2.30: Levhaların arasındaki ortamın değiştirilmesi

Cam, lastik ve mumlu kâğıt gibi maddeler iletken olmayan, dielektrik (yalıtkan) maddelerdir. Paralel levhaların arasındaki boşluğa elektriksel geçirgenliği ε olan yalıtkan bir madde yerleştirilirse bu maddenin elektriksel geçirgenliği boşluğunkinden büyük olduğu için

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0}$$

ifadesine göre Coulomb sabiti azalır. Bu durumda levhaların potansiyel farkı da azalır. Üreteç, levhaların azalan potansiyel farkını kendi potansiyel farkına eşitleyene kadar devreye yük sağlar (Şekil 2.30). Böylece sistemde depolanan yük, dolayısıyla sığa artmış olur.

Bir üretece bağlı paralel levhalar birbirine yaklaştıkça aralarındaki elektrik alanın büyüklüğü artar. Bu nedenle (-) yüklü levha üzerindeki elektronlara uygulanan elektriksel kuvvet, yüklerin karşı levhaya geçmelerine neden olur. Bu da sistemde yük boşalması oluşturur. Araya konulan yalıtkan madde sayesinde hem bu tür yük geçişleri önlenmiş hem de levhaların olabilecek en küçük mesafelerde birbirine yaklaştırılmaları sağlanmış olur.

Sonuç olarak sığa, levhalar arasındaki ortamın elektriksel geçirgenliği (ε) ve levhaların yüzey alanı (A) ile doğru, levhalar arasındaki uzaklık (d) ile ters orantılıdır. Buna göre sığa

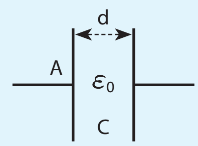
$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$ olur.

Sığa birimi olan farad çok büyük bir değerdir. Bu nedenle teknolojideki uygulamalarında daha çok mikrofarad (μF), nanofarad (nF), pikofarad (pF) birimleri kullanılır. Bu birimler için

$1\mu F = 10^{-6} F$ $\quad$ $1nF = 10^{-9} F$ $\quad$ $1pF = 10^{-12} F$ olur.

20. ÖRNEK

Aralarında d kadar uzaklık bulunan ve yüzey alanı A olan yüklü paralel levhalar arasında hava vardır. Bu durumda paralel levhaların arasındaki havanın elektriksel geçirgenliği ε_0, levhaların sığası C ve yükü q'dur.



Levhaların arasındaki uzaklık yarıya indirilip levhaların arasına elektriksel geçirgenliği havanın 5 katı olan bir yalıtkan yerleştirildiğinde sığa kaç C olur?

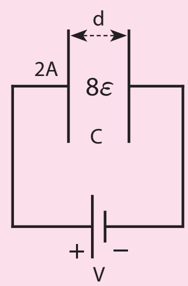
ÇÖZÜM

İlk durum için sığa $C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$ olur. İkinci durumda kullanılan yalıtkanın elektriksel geçirgenliği $\varepsilon = 5\varepsilon_0$ levhalar arası uzaklık $d_2 = \frac{d}{2}$ yerine yazılırsa paralel levhaların son durumdaki sığası

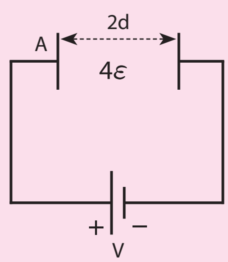
$$C_2 = \varepsilon \frac{A}{d_2} \Longrightarrow C_2 = 5\varepsilon_0 \frac{A}{\frac{d}{2}} \Longrightarrow C_2 = 10\varepsilon_0 \frac{A}{d} = 10C \text{ olur.}$$

24. ALIŞTIRMA

Paralel iki levha Şekil I'deki gibi potansiyel farkı V olan üretece bağlanmıştır. Aralarında d uzaklığı bulunan ve yüzey alanı 2A olan levhaların arasında elektriksel geçirgenliği 8ε olan yalıtkan varken sığası C, yükü q'dur. Levhaların yüzey alanı A ve aralarındaki uzaklık 2d yapılıp aralarına elektriksel geçirgenliği 4ε olan yalıtkan yerleştirilerek özdeş üretece Şekil II'deki gibi bağlanmıştır.



Şekil I



Şekil II

Buna göre

a) Levhaların sığası kaç C olur?

b) Levhaların son yükü kaç q olur?

ÇÖZÜM

25. ALIŞTIRMA

Paralel ve iletken iki levhadan oluşan bir sistem kurulmuştur.

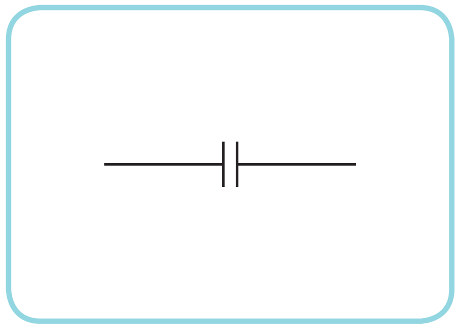
Bu levhalarda depolanacak yük miktarını arttırmak için yapılabilecek yapısal değişiklikler nelerdir?

ÇÖZÜM

E) SIĞAÇ (KONDANSATÖR)



Görsel 2.3: Devrelerde kullanılan sığaç örnekleri



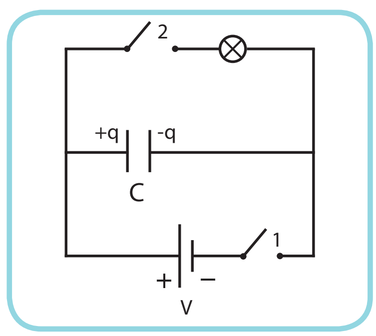
Şekil 2.31: Sığacın devredeki gösterimi

Yük, dolayısıyla elektriksel potansiyel enerjiyi depolamak için kullanılan düzeneklere **sığaç (kondansatör)** denir. Sığaçlar yapısına göre paralel plakalı (düzlem) sığaç, küresel sığaç, silindirik sığaç gibi farklı isimler almaktadır. Sığaçlar elektrik devrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Görsel 2.3). Sığaçların elektrik devrelerinde gösterimi Şekil 2.31'deki gibidir.

Özdeş iki paralel levhanın arasına yalıtkan bir malzeme yerleştirilerek düzlem sığaç elde edilir. Üretece bağlı levhalar eşit büyüklükte ve zıt elektrik yüküyle yüklenir. Levhaların potansiyel farkı üretecin potansiyel farkına eşitlendiğinde sığaç yüklenmiş olur ve üreteçten gelen akım kesilir. Sığaç yüklendikten sonra üreteç bağlantısı kesilse de levhalardaki yük korunur.

Yüklü bir sığaçta levhalardan biri +q kadar yüklenirse diğeri –q kadar yüklenir. Bu durumda levhalardaki toplam yük sıfırdır. Ancak sığacın yükü, levhalardan birinin yük büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. Bir sığacın levhalarının yükü +q ve –q ise sığacın yükü q olur. Bu levhalardaki yükler sayesinde sığaçta enerji depolanmış olur. Enerji, sığacın levhaları arasında oluşan elektrik alanda depolanır.

Şekil 2.32'deki gibi bir sığaç üretece bağlanarak yüklendikten sonra 1 numaralı anahtar açılarak bağlı olduğu üreteçten ayrılırsa depo edilmiş yükler üzerinde kalır. Yüklü sığaç lamba gibi bir devre elamanına bağlanıp 2 numaralı anahtar kapatıldığında oluşan devrede elektrik akımı oluşur. Bu durumda devredeki lamba yanar. Yük geçişi tamamlandığında lamba söner. Yani sığaçta depolanan enerji ile lambanın bir süreliğine yanması sağlanır.



Şekil 2.32: Sığacın devrede kullanımı



Görsel 2.4: Flaş patlaması

Sığaç, çok hızlı bir şekilde yük depo eder ve bağlandığı devreye ani yük akışı sağlar. Örneğin fotoğraf makinelerindeki flaş ışığı sığaçla sağlanmaktadır. Sığaçta depolanan enerji, makinenin düğmesine basıldığında flaş lambasına gönderilir ve fotoğraf çekilen ortam kısa bir süre kuvvetlice aydınlatılır (Görsel 2.4). Hoparlörün yapısında da sığaç bulunur. Devre elektriği kesilse bile hoparlördeki sığaç devreye bir süre daha yük akışı sağlar. Bu nedenle elektrik kesildiğinde hoparlörden bir süre daha ses duyulur. Bazı bilgisayar klavyelerinde her bir tuş altında, levhaları arasında yumuşak yalıtkan kullanılan sığaçlar bulunur. Radyo alıcılarının frekans ayarlarında da sığaçlar kullanılmaktadır. Benzer şekilde elektronik devrelerin çoğunda sığaçlar kullanılır.

Bir elektronik devre kaldırabileceğinden fazla potansiyel farkı altında kalırsa devre elemanları zarar görebilir. Evlerdeki elektrikli cihazların uçlarındaki potansiyel farkında olabilecek değişiklikler cihazların bozulmasına neden olabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için devrelerin hazırlanması sırasında sığaçlardan yararlanılarak devrenin korunması sağlanabilir.

Sığaçların kullanıldığı önemli aletlerden birisi de elektroşok cihazlarıdır. Elektroşok cihazı tam olarak yüklendiğinde sığacının levhaları arasında oluşan elektrik alanda 360 J enerji depolanır. Bu enerji gücü 60 W olan bir lambanın yaklaşık 3 000 katına eş değerdir. Bu enerji 2 ms süre ile hastanın vücuduna verilerek kalpteki kasılma durdurulur ve kalbin atması sağlanır.

ARAŞTIRMA KONUSU

Sığaçların teknolojideki kullanım alanlarını araştırınız. Araştırma sonuçlarınızı sınıf ortamında arkadaşlarınıza sunum yaparak paylaşınız.

21. ÖRNEK

Bir sığaç, potansiyel farkı V olan üreteçle yüklendikten sonra bağlantısı kesilip levhalar birbirinden bir miktar uzaklaştırılmıştır.

Buna göre

a) Sığacın yük depolama kapasitesindeki değişimi açıklayınız.
b) Sığaçta depolanan enerjinin bu durumdan nasıl etkileneceğini açıklayınız.
c) Birbirinden uzaklaştırılan levhalar tekrar potansiyel farkı V olan üretece bağlanırsa sığaçta biriken yük miktarının ilk duruma göre değişimini açıklayınız.

ÇÖZÜM

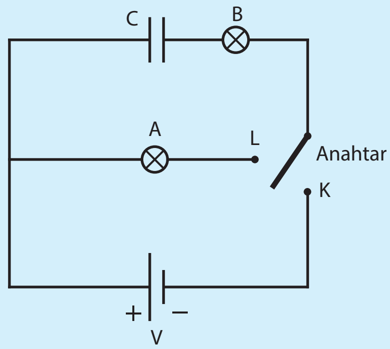
a) $C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$ bağıntısına göre d arttığı için sığacın sığası azalır. Bu durumda sığacın yük depolama kapasitesi de azalır.

b) Yüklü levhalar birbirinden uzaklaştırılırken elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Yapılan bu iş sığaçta depolanan enerjiyi arttırır.

c) Levhalar birbirinden uzaklaştırıldığında sığacın sığası azaldığı için potansiyel farkı V olan üretece bağlandığında levhalarda birikecek yük miktarı da azalır.

22. ÖRNEK

Şekildeki devre; yüksüz bir sığaç, lamba, üreteç ve anahtarla kurulmuştur. Anahtarın devre kurulduğu andaki konumu verilmiştir. Üretecin potansiyel farkı lambanın ışık vermesi için uygun büyüklüktedir ve sığaç V potansiyel farkı olan üreteçle yüklenebilmektedir.



Buna göre sırasıyla

a) Anahtar K konumuna getirildiğinde lambaların ışık verme durumu ne olur?

b) Anahtar L konumuna getirildiğinde lambaların ışık verme durumu ne olur?

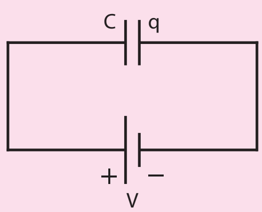
ÇÖZÜM

a) Anahtar K konumuna getirildiğinde yalnız B lambası ışık verir. Sığaç dolduğunda B lambası söner.

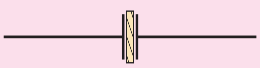
b) Anahtar L konumuna getirildiğinde sığaç dolu olduğu için her iki lamba da ışık verir. Sığaç yüksüz hâle geldiğinde lambalar söner.

26. ALIŞTIRMA

Levhaları arasında hava olan bir sığaç Şekil I'deki gibi potansiyel farkı V olan üretece bağlanmıştır. Bu durumdayken sığacın sığası C, yükü q'dur. Daha sonra, üreteçten ayrılan sığacın levhaları arasına yalıtkan bir madde Şekil II'deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil I



Şekil II

Buna göre

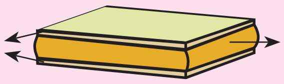
a) Sığacın levhaları arasına yalıtkan bir madde yerleştirildiğinde sığası nasıl değişmiştir?

b) Sığaç üretece bağlıyken levhaları arasına yalıtkan bir madde yerleştirilseydi enerjisi nasıl değişirdi?

ÇÖZÜM

27. ALIŞTIRMA

Bazı bilgisayar klavyelerinin tuşları altındaki sığaçlar arasında yumuşak yalıtkanlar kullanılmaktadır.



Tuşlara basıldığında sığacın sığasının büyüklüğü nasıl değişir? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

28. ALIŞTIRMA

Bir düzlem sığaç, yüklendikten sonra üreteçten ayrılmıştır. Sığacın levhaları birbirinden uzaklaştırılırken dışarıdan bir kuvvet, elektriksel kuvvetlere karşı iş yapar.

Buna göre levhaları uzaklaştırılan sığacın potansiyel farkı nasıl değişir? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

29. ALIŞTIRMA

Yüksek potansiyel farkına sahip bir sığaç, yükünü kaybetmeden bağlı olduğu üreteçten ayrılmıştır.

Buna göre bu sığaca dokunmak tehlikeli olabilir mi? Neden?

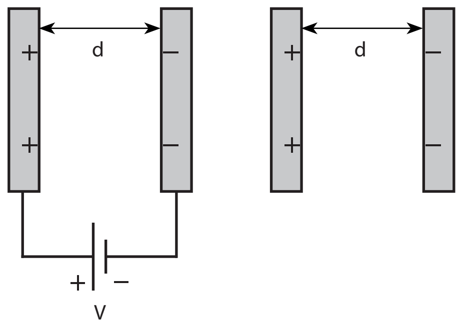
ÇÖZÜM

ARAŞTIRMA KONUSU

Elektrik yüklerinin nasıl depolanabileceği ve elektrik enerjisi olarak nasıl kullanılabileceği konusunda araştırma yapınız. Elde ettiğiniz sonuçları sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.

3. BÖLÜM SONU SORULARI

1. Şekil I'deki gibi aralarında d kadar uzaklık bulunan özdeş levhalardan oluşan sığaçlar potansiyel farkı V olan üreteçle yüklenmiştir. Sığaçlar yüklendikten sonra şekil II'deki gibi üreteçten ayrılmıştır.



Şekil I Şekil II

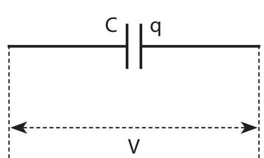
Buna göre

a) Sığaçların levhaları arasındaki düzgün elektrik alana ait alan çizgilerini çiziniz.

b) Sığaçların levhaları arasındaki uzaklık $\frac{d}{3}$ yapılırsa oluşan elektrik alana ait alan çizgilerini çiziniz.

ÇÖZÜM

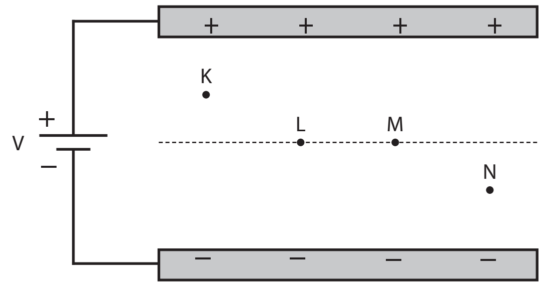
2. Sığası C olan şekildeki sığacın üretece bağlandığında potansiyel farkı V, yükü q olmaktadır. Sığaç üreteçten ayrıldıktan sonra sığacın levhaları arasındaki uzaklık arttırılmıştır.



Buna göre C, q ve V'nin büyüklüklerindeki değişimi yorumlayınız.

ÇÖZÜM

3. Şekildeki paralel levhalar potansiyel farkı V olan üretece bağlanarak yüklenmiştir. L ve M noktaları eş potansiyel yüzeydedir.



Buna göre

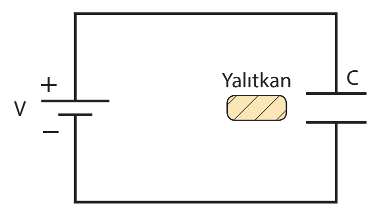
a) K, L, M ve N noktalarının elektriksel potansiyellerini büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

b) K, L, M ve N noktalarındaki elektrik alanların büyüklüklerini karşılaştırınız.

c) Başka değişiklik yapmadan levhalar arasındaki uzaklık iki katına çıkarıldığında elektrik alan ve levhaların potansiyel farkı nasıl değişir açıklayınız.

ÇÖZÜM

4. Potansiyel farkı V olan üretece bağlı iken bir sığacın sığası C, yükü q olmaktadır. Devre bu durumdayken sığacın levhaları arasına yalıtkan yerleştirilmektedir.



İlk duruma göre

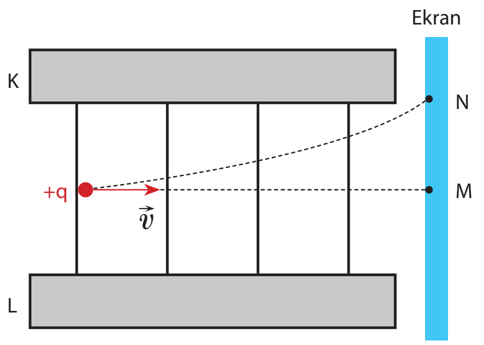
a) Sığacın sığası nasıl değişir?

b) Sığacın uçları arasındaki potansiyel farkı nasıl değişir?

c) Sığacın yükü nasıl değişir?

ÇÖZÜM

5. İletken K ve L levhaları ile kurulan ve bir ekran karşısına yerleştirilen sistem sürtünmelerin ihmal edildiği ortamdadır. m kütleli ve +q yüklü parçacık, levhalar arasındaki düzgün elektrik alana dik olarak $\vec{v}$ hızıyla M noktasına doğru fırlatılmıştır.



Yük ekrandaki N noktasına çarptığına göre

a) Levhaların yük cinsi ve levhalar arasındaki düzgün elektrik alanın yönü nedir?

b) Parçacığın K levhasına çarpması için neler yapılabileceğini yazınız.

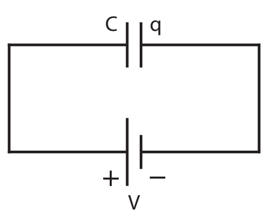
ÇÖZÜM

6. Kullanım alanlarına göre farklı sığalara sahip sığaçlar yapılmaktadır.

Sığaçların kullanım alanlarına örnekler veriniz.

ÇÖZÜM

7. Sığası C olan bir sığacın yükü, potansiyel farkı V olan bir üretece bağlandığında q olmaktadır.



Sığacın levhaları arasındaki uzaklık arttırılırsa sığacın sığası ve depolanan yük ilk duruma göre nasıl değişir?

ÇÖZÜM

8. Pil ve sığaç elektronik devrelerde kullanılmaktadır.

Pil ve sığacın benzer ve farklı yönleri nelerdir?

ÇÖZÜM

9. Bir elektronik devrede kullanılmak üzere boyutları önceden belirlenen düzlem levhalar ile sığaç yapılacaktır.

Buna göre bu levhaları kullanarak sığacın büyük sığalı olması için neler yapılabilir?

ÇÖZÜM

10. Yalıtılmış düzlemde bulunan K ve L noktasal parçacıklarının yükleri sırasıyla q_K ve q_L'dir.



Buna göre

a) K parçacığı için çizilecek elektrik alan çizgi sayısının, L parçacığı için çizilecek elektrik alan çizgi sayısına oranı kaçtır?

b) K ve L parçacıkları arasında birinden çıkıp diğerinde sonlanan elektrik alan çizgi sayısının, L parçacığına ait elektrik alan çizgileri sayısına oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

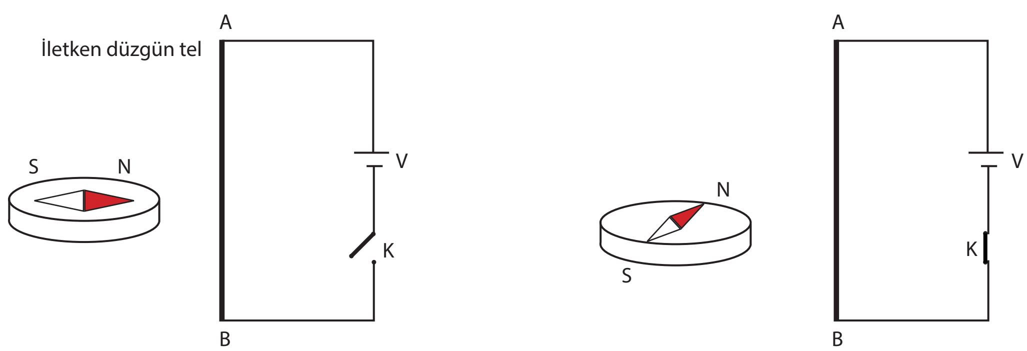
2.4. MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLENME

Elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki, Danimarkalı bilim insanı Hans Christian Öersted (Hens Kıristiyen Örs-tö) tarafından 1819'da bir deney sırasında keşfedilmiştir. Öersted, bu deneyde içinden akım geçen bir telin, yakınında duran pusula iğnesini saptırdığını gözlemlemiştir. Bundan kısa bir süre sonra Andre Marie Ampere (Andre Meri Amper), akım taşıyan bir iletkenin diğerine uyguladığı manyetik kuvveti hesaplamak için gerekli bağıntıları elde etmiştir. 1820'lerde Michael Faraday (Maykıl Feredey) ve Joseph Henry (Cosıf Henri) de yaptıkları deneylerde elektrik akımı ile manyetizma arasındaki başka ilişkileri göstermişlerdir. Yıllar sonra Maxwell'in (Meksvel) çalışmaları da değişen elektrik alanın bir manyetik alan oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Bu bölümde, üzerinden akım geçen telin oluşturduğu manyetik alan, manyetik alan içindeki hareketli yüklere ve akım taşıyan tellere etkiyen kuvvetler ile elektromanyetik indüklenme olayı incelenecektir.

A) ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN İLETKEN DÜZ TELİN ÇEVRESİNDE OLUŞAN MANYETİK ALAN

Pusula iğnesi her zaman bulunduğu ortamdaki manyetik alanın doğrultusunda yönlenir. Pusula iğnesinin doğrultusunun değişmesi, ortamdaki manyetik alanın değiştiğini gösterir. Örneğin pusulaya bir mıknatıs yaklaştırıldığında pusula iğnesinin doğrultusu değişebilir. Bu durum, üzerinden akım geçen iletken telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın varlığını göstermek için kullanılabilir.



a) Akım geçmeyen düz telin yanındaki pusula

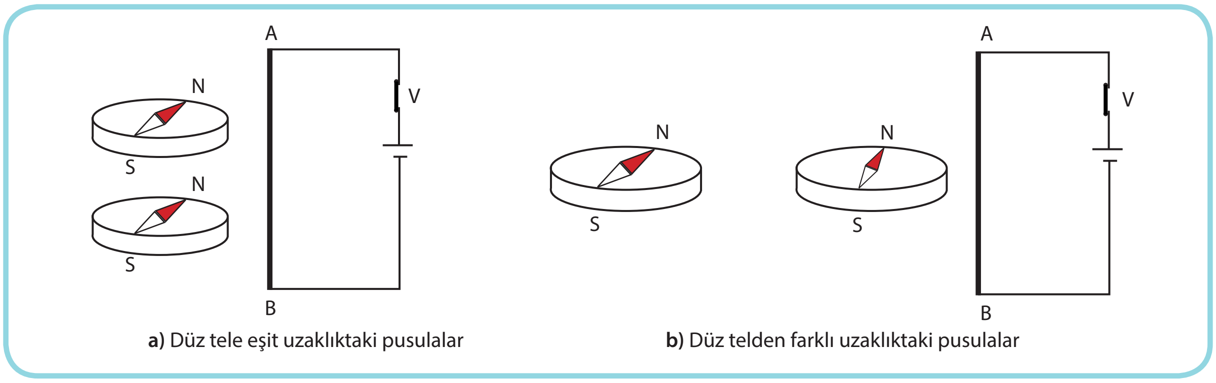
b) Akım geçen düz telin yanındaki pusula

Şekil 2.33: Düz telin etrafına yerleştirilmiş pusulalar

Akım geçmeyen bir düz telin yakınına pusula yerleştirildiğinde pusula iğnesi Dünya'nın manyetik alanın etkisindedir (Şekil 2.33.a). K anahtarı kapatılarak düz telden akım geçmesi sağlanırsa pusula iğnesinin doğrultusunun değiştiği gözlenir (Şekil 2.33.b). Bu olayda mıknatıs kullanılmamasına rağmen pusula iğnesinin doğrultusunun değişmesi, üzerinden akım geçen telin çevresinde manyetik alan oluştuğunu gösterir. Pusula iğnesi Dünya'nın manyetik alanı ile akım geçen telin manyetik alanının bileşkesi doğrultusunda yönelir.

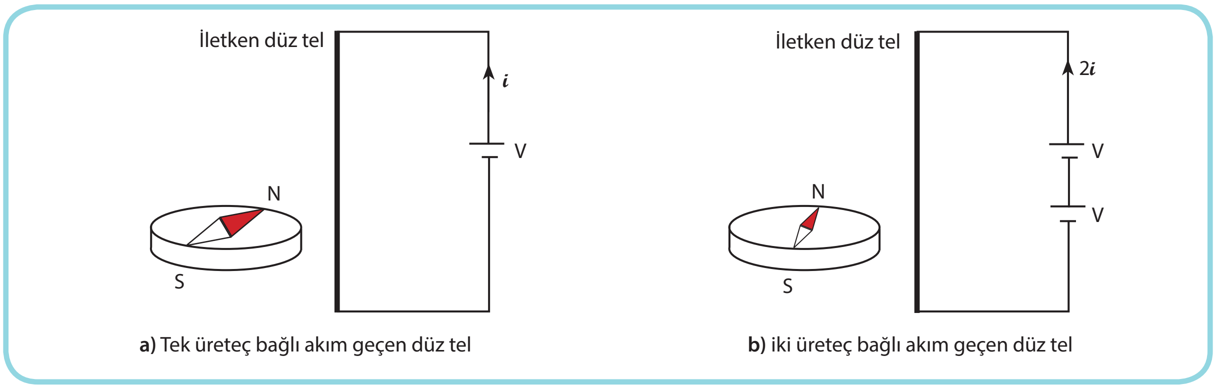
Mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın kaynağı mıknatısı oluşturan atomlara ait elektronların hareketidir. Akım geçen telin oluşturduğu manyetik alanın kaynağı ise teldeki elektronların hareketidir. Bu nedenle telden akım geçtiğinde, akımı oluşturan elektronların hareketinden dolayı telin çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür ve $\vec{B}$ sembolü ile gösterilir. SI'da birimi **tesla**dır (T).

? Akım geçen düz telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın şiddetini etkileyen değişkenler nelerdir?



Şekil 2.34: Düz telin etrafına yerleştirilmiş pusulalar

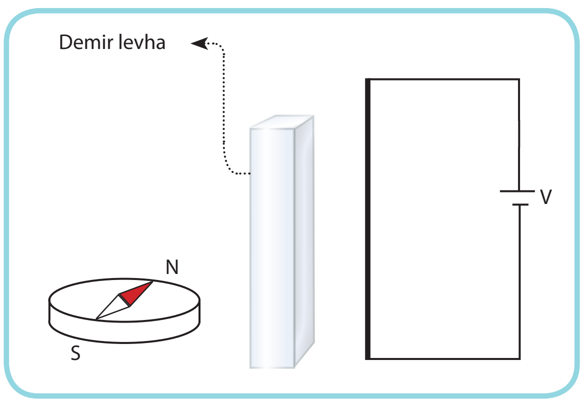
Özdeş pusulalar, AB iletken teline eşit uzaklıkta konulup telden akım geçmesi sağlandığında tele eşit uzaklıktaki pusula iğnelerinin sapma miktarları aynı şekilde gerçekleşir (Şekil 2.34.a). Telden farklı uzaklıklara konulan pusulalardan, tele yakın olan pusulanın iğnesindeki sapmanın daha fazla olduğu görülür (Şekil 2.34.b). Bunun sebebi tele yakın yerlerde manyetik alanın daha şiddetli olmasıdır. Üzerinden akım geçen telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, tele olan dik uzaklık ile ters orantılıdır.



Şekil 2.35: Farklı akımlar geçen düz teller

Üzerinden i akımı geçen düz iletken telin yakınında bulunan pusula iğnesi sapmaya uğrar (Şekil 2.35.a). Devreye özdeş bir üreteç daha seri olarak bağlandığında telden geçen akım şiddeti $2i$ olur. Bu durumda tele aynı uzaklıktaki pusula iğnesindeki sapma miktarının arttığı görülür (Şekil 2.35.b). Sapma miktarının artmasının nedeni pusulanın bulunduğu yerde oluşan manyetik alan şiddetinin artmasıdır. Pusulanın bulunduğu yerdeki manyetik alan şiddetinin artmasının nedeni ise iletken telden geçen akım şiddetinin artmasıdır. Üzerinden akım geçen düz telin çevresinde oluşan manyetik alanın şiddeti, telden geçen akım şiddeti ile doğru orantılıdır.

Üzerinden akım geçen düz tel ile pusula arasına Şekil 2.36'daki gibi bir demir levha yerleştirildiğinde pusula iğnesinin doğrultusunun değiştiği görülür. Pusulanın tele uzaklığı ve telden geçen akım şiddeti değişmediği hâlde pusula iğnesindeki doğrultu değişiminin nedeni, pusula ile tel arasındaki ortamın değişmesidir. İletken telin oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, tel ile pusula arasındaki ortamın cinsine bağlı olarak değişir.

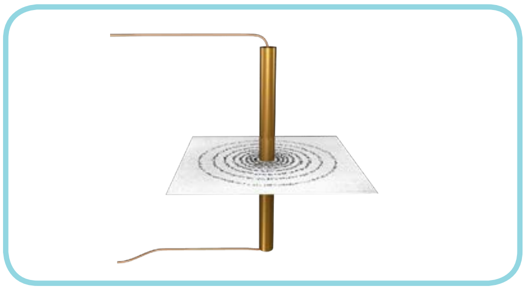


Şekil 2.36: Pusula ile arasına demir levha yerleştirilmiş düz tel

Manyetik alan çizgileri maddelerin içinden geçerken bazen sıklaşır bazen de seyrekleşir. Maddeler bu özelliklerinden dolayı manyetik alanı kuvvetlendirebilir veya zayıflatabilir. Bu özellik maddenin manyetik geçirgenliği olarak bilinir. Boş uzayın (boşluğun) manyetik geçirgenliği μ_0 sembolü ile gösterilir ve büyüklüğü $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T.m}{A}$ dir. Üzerinden akım geçen düz telin çevresinde oluşan manyetik alanın şiddeti; telden geçen akım şiddetine, tele olan dik uzaklığa ve telin bulunduğu ortamın cinsine bağlı olarak değişir. Buna göre üzerinden i akımı geçen düz telden d kadar dik uzaklıkta oluşan manyetik alanın şiddeti $B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d}$ bağlantısıyla bulunur. Boşluğun geçirgenlik katsayısı ile hava ortamının geçirgenlik katsayısı değer olarak birbirine çok yakın olduğu için problem çözümlerinde eşit kabul edilir. $K = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \frac{T.m}{A}$ olur ve bu sabit, **manyetik alan sabiti** olarak tanımlanır. Bu durumda manyetik alan şiddeti

$$B = \frac{K \cdot 2i}{d}$$ olur.

Akım geçen düz tele dik bir düzlem üzerine demir tozları döküldüğünde demir tozlarının teli merkez kabul eden halkalar şeklinde sıralandığı görülür (Şekil 2.37). Demir tozlarının oluşturduğu halkalar arasındaki uzaklık telden uzaklaştıkça artar. Halkalar, telin çevresinde oluşan manyetik alan çizgilerini temsil eder.



Şekil 2.37: Üzerinden akım geçen düz telin çevresindeki demir tozlarının yönlenmesi



Görsel 2.5: Üzerinden akım geçen düz telin çevresindeki pusula iğnelerinin yönlenmesi

Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Düz telin çevresinde bir noktadaki manyetik alan vektörü, o noktadaki alan çizgilerine teğettir. Akım geçen düz telin etrafına pusulalar konulduğunda pusula iğneleri, manyetik alan çizgilerine teğet olacak şekilde yönlenir (Görsel 2.5).



a) Düz telin çevresinde oluşan manyetik alan çizgileri

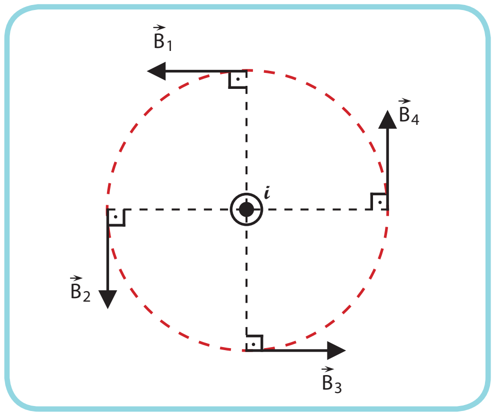
b) Düz telin çevresinde oluşan manyetik alan vektörleri

Şekil 2.38: Sayfa düzleminde bulunan düz telin çevresinde oluşan manyetik alan

Manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Düz tel, başparmak akım yönünü gösterecek şekilde avuç içinde tutulursa teli kavrayan dört parmağın yönü manyetik alanın dolanım yönünü gösterir (Şekil 2.38.a). Alan çizgilerine dolanım yönünde çizilen teğet, o noktadaki manyetik alan vektörünün yönünü verir. Sayfa düzlemindeki telin çevresinde ve bir noktada oluşan manyetik alan vektörü sayfa düzleminden içeri veya dışarı doğrudur (Şekil 2.38.b). Sayfa düzlemine dik ve düzlemden içeri doğru olan büyüklüğün yönü $(\otimes)$ sembolü ile, dışarı doğru olanlar ise $(\odot)$ sembolü ile gösterilir.

Manyetik alan vektörü ile akım geçen tel her zaman birbirine diktir. Eğer akım geçen tel sayfa düzlemine dik ise manyetik alan vektörleri sayfa düzlemindedir (Şekil 2.39).

Bir noktada birden fazla akım geçen düz tel manyetik alan oluşturursa bileşke manyetik alanı bulmak için vektörel toplama işlemi yapılmalıdır. Bunun için önce her bir telin oluşturduğu manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur ve büyüklüğü hesaplanır. Ardından manyetik alan vektörleri toplanarak bileşke manyetik alanın yönü ve büyüklüğü bulunur.

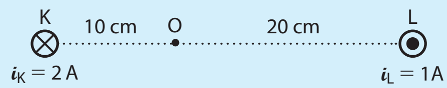


Şekil 2.39: Sayfa düzlemine dik olan düz telin çevresinde oluşan manyetik alan vektörleri

23. ÖRNEK

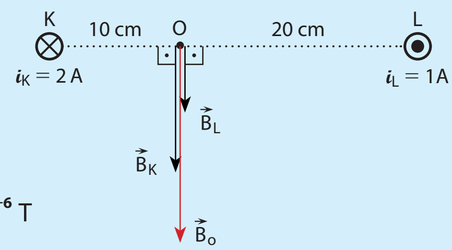
Sayfa düzlemine dik K düz telinden 2 A ve L düz telinden 1 A akım geçmektedir.

Buna göre düz tellerin O noktasında oluşturduğu bileşke alanın şiddeti ve yönü nedir? ($K = 10^{-7}\ \frac{T{\cdot}m}{A}$ alınız.)



ÇÖZÜM

Sağ el kuralına göre K ve L tellerinin O noktasında oluşturduğu manyetik alanların yönü şekildeki gibidir.



$B = \frac{K \cdot 2i}{d}$ olduğuna göre

$B_K = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 2}{0,1} = 4x10^{-6}$ T $\qquad B_L = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 1}{0,2} = 1x10^{-6}$ T

$\vec{B}_K$ ve $\vec{B}_L$ yönü aynı olduğu için O noktasındaki bileşke manyetik alan şiddeti

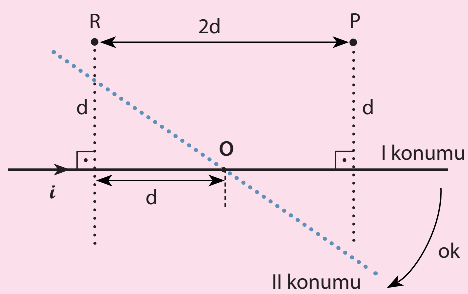
$B_O = B_K + B_L = 4x10^{-6} + 1x10^{-6} = 5x10^{-6}$ T

olarak bulunur. O noktasındaki bileşke manyetik alanın yönü şekildeki gibidir.

30. ALIŞTIRMA

Sayfa düzleminde i akımı geçen düz tel şekildeki gibi O noktası etrafında ok yönünde çevrilerek I konumundan II konumuna getirilmektedir.

Buna göre başlangıçta telden d, birbirlerinden 2d uzaklıkta bulunan P ve R noktalarında oluşan manyetik alanların büyüklüğü nasıl değişir?

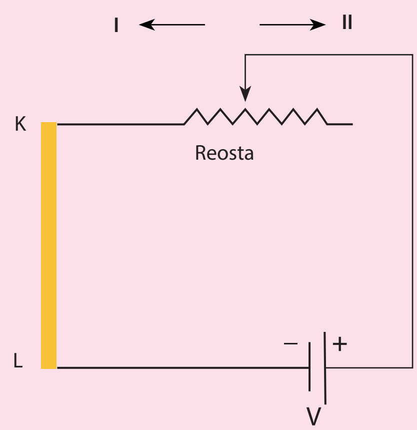


ÇÖZÜM

31. ALIŞTIRMA

İletken düz KL teli, reosta ve üreteç kullanılarak şekildeki gibi kurulan devreden akım geçmektedir. Devrede yapılan bazı değişiklikler tabloda verilmiştir.

Buna göre değişiklikler ayrı ayrı yapıldığında KL telinin etrafında oluşan manyetik alanın yön ve büyüklüğünün ne şekilde değişeceğini tablodaki boş yerlere yazınız.



ÇÖZÜM

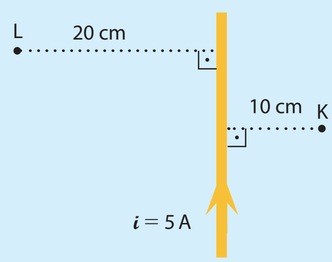
Yapılan Değişiklik	Manyetik Alanın Yönü (Değişir/Değişmez)	Manyetik Alanın Şiddeti (Artar/Azalır/Değişmez)
Reostanın sürgüsünü I yönünde çekmek		
Reostanın sürgüsünü II yönünde çekmek		
Üretecin kutuplarının yerini değiştirmek		

24. ÖRNEK

5 A akım geçen düz bir telin 10 cm uzağındaki K noktasında $\vec{B}_K$ ve 20 cm uzağındaki L noktasında $\vec{B}_L$ manyetik alanları oluşmaktadır.

Buna göre oluşan manyetik alanların şiddeti ve yönü nedir?

($K = 10^{-7}\ \frac{T{\cdot}m}{A}$ alınız.)



ÇÖZÜM

K noktası için d = 10 cm = 0,1 m

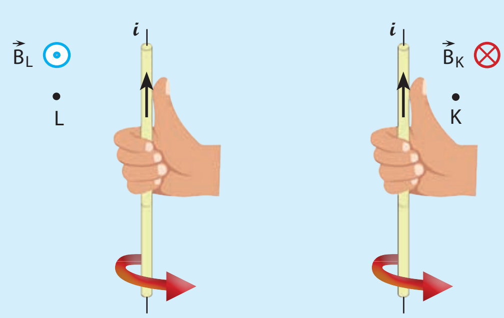
$$B_K = \frac{K \cdot 2i}{d} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 5}{0,1} = 10^{-5}\ T$$

Sağ el kuralına göre manyetik alanın yönü sayfa düzleminden içeri doğrudur.

L noktası için d = 20 cm = 0,2 m

$$B_L = \frac{K \cdot 2i}{d} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 5}{0,2} = 5 \cdot 10^{-6}\ T$$

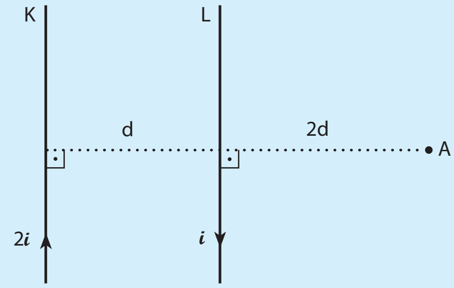
Sağ el kuralına göre manyetik alanın yönü sayfa düzleminden dışarı doğrudur.



25. ÖRNEK

Sayfa düzlemindeki K ve L düz tellerinden $2i$ ve i akımları geçmektedir. K telinin A noktasında oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.

Buna göre A noktasındaki bileşke manyetik alanın büyüklüğü ve yönü nedir?



ÇÖZÜM

K telinin A noktasında oluşturduğu manyetik alanın yönü sağ el kuralına göre sayfa düzleminden içeri doğru ve büyüklüğü

$B_K = \frac{K \cdot 2 \cdot 2i}{3d} = \frac{4K \cdot i}{3d}$ ⊗ olur.

L telinin A noktasında oluşturduğu manyetik alanın yönü sayfa düzleminden dışarı doğru ve büyüklüğü

$B_L = \frac{K \cdot 2i}{2d} = \frac{K \cdot i}{d}$ ⊙ olur. $B_K = B$ ise $B_L = \frac{-3}{4}B$ olur.

Buna göre bileşke manyetik alanın büyüklüğü

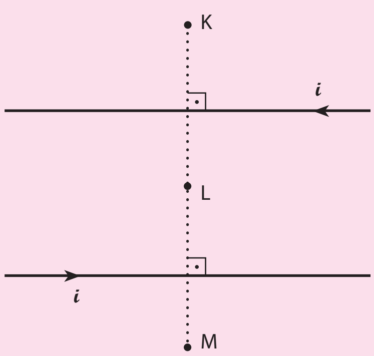
$B_A = B - \frac{3B}{4} = \frac{B}{4}$ olarak bulunur. Bileşke manyetik alanın yönü sayfa düzleminden içeri doğru olur.

32. ALIŞTIRMA

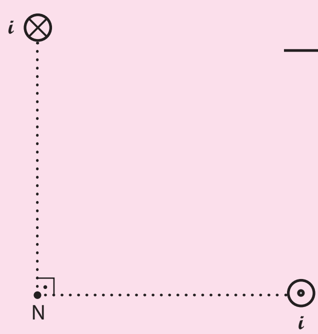
Şekil I, Şekil II ve Şekil III'te verilen düz iletken tellerden i akımı geçmektedir.

Buna göre tellerin çevresinde verilen noktalardaki manyetik alan yönünü şekiller üzerinde gösteriniz.

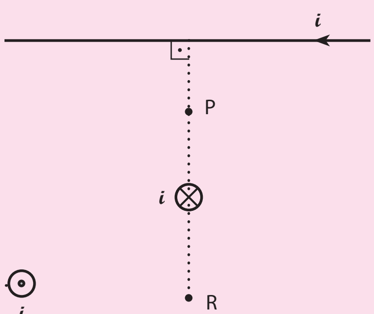
ÇÖZÜM



Şekil I



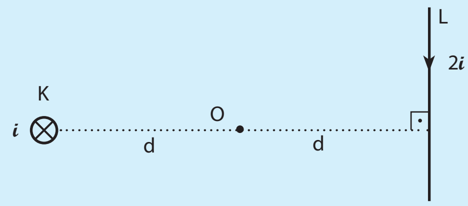
Şekil II



Şekil III

26. ÖRNEK

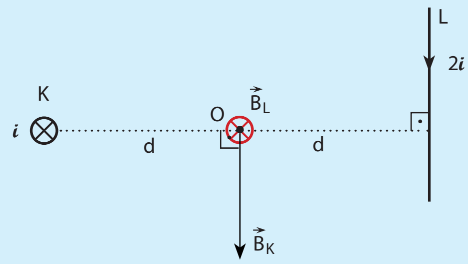
Sayfa düzlemine dik K düz teli ile sayfa düzleminde bulunan L düz telinden şekilde verilen yönlerde ve büyüklükte akımlar geçmektedir.



K telinin O noktasında oluşturduğu manyetik alanın şiddeti B olduğuna göre tellerin O noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan şiddeti kaç B'dir?

ÇÖZÜM

Sağ el kuralına göre K düz telinin O noktasında oluşturduğu manyetik alan sayfa düzleminde ve aşağıya doğrudur. L düz telinin oluşturduğu manyetik alan sayfa düzleminden içeri doğrudur. Tellerin oluşturduğu alanlar birbirine diktir. Alanların şiddetleri



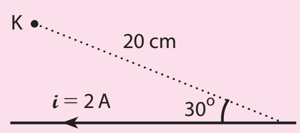
$B_K = \dfrac{K \cdot 2i}{d} = B \qquad B_L = \dfrac{K \cdot 2 \cdot 2i}{d} = \dfrac{4K \cdot i}{d} = 2B$ olur.

O noktasındaki bileşke manyetik alan Pisagor teoremi kullanılarak

$B_O^2 = B_K^2 + B_L^2 = B^2 + 4B^2 = 5B^2 \Longrightarrow B_O = \sqrt{5}\,B$ bulunur.

33. ALIŞTIRMA

Sayfa düzleminde bulunan düz telin üzerinden 2 A akım geçmektedir.



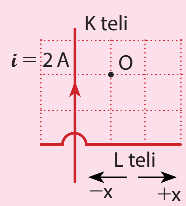
Buna göre telin K noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti kaç tesladır ve yönü nedir?

($K = 10^{-7}\,\dfrac{T{\cdot}m}{A}$ ve $\sin 30° = 0{,}5$ alınız.)

ÇÖZÜM

34. ALIŞTIRMA

Üzerinden 2 A akım geçen K düz teli ile aynı düzlemdeki L düz telinin O noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan sıfırdır.

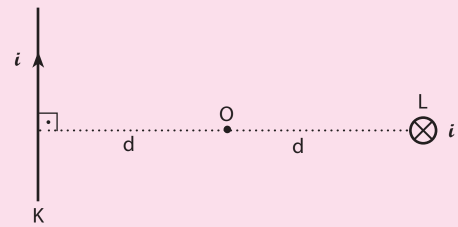


Buna göre L düz telinden geçen akımın yönü ve büyüklüğü nedir?

ÇÖZÜM

35. ALIŞTIRMA

Sayfa düzlemindeki K düz teli ve sayfa düzlemine dik L düz telinden şekilde verilen yönlerde i akımları geçmektedir.

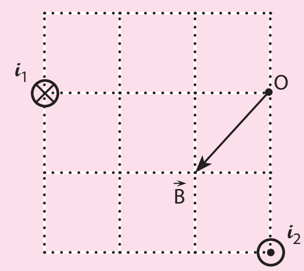


Buna göre K telinin O noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü B ise O noktasındaki bileşke manyetik alanın büyüklüğü kaç B olur?

ÇÖZÜM

36. ALIŞTIRMA

Eşit kare bölmelere ayrılmış sayfa düzlemine dik i_1 ve i_2 akımları geçen düz tellerin O noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.

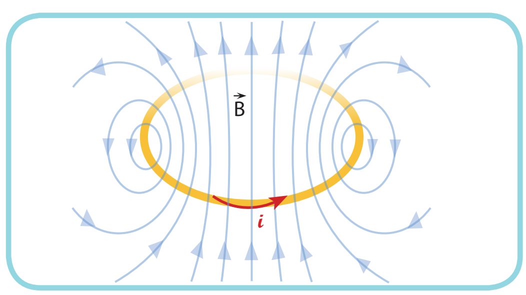


Buna göre tellerden geçen akımların $\frac{i_1}{i_2}$ oranı nedir?

ÇÖZÜM

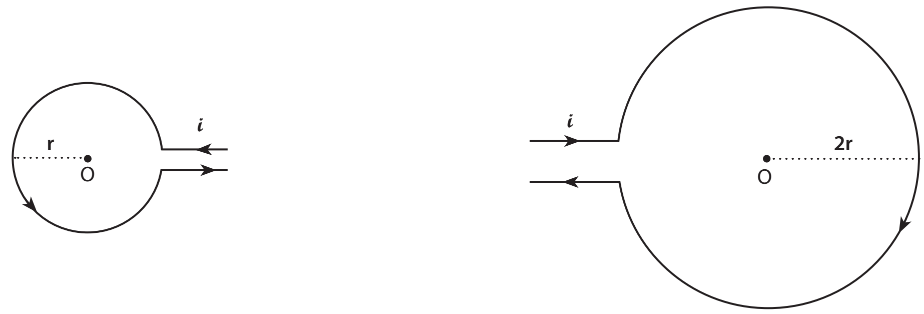
B) ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN İLETKEN HALKANIN MERKEZİNDE OLUŞAN MANYETİK ALAN

Üzerinden akım geçen düz tel bükülerek halka şekline getirildiğinde çevresinde manyetik alan oluşur. Manyetik alan çizgileri, halkanın merkezinde birbirlerini kuvvetlendirerek halka eksenine paralel bir manyetik alan oluşturur. Halkanın dışındaki noktalarda merkeze göre daha zayıf alanlar oluşur (Şekil 2.40).



Şekil 2.40: Halka etrafında oluşan manyetik alan çizgileri

Akım geçen halkanın merkezindeki manyetik alanı etkileyen değişkenler nelerdir?



a) Üzerinden i akımı geçen r yarıçaplı halka

b) Üzerinden i akımı geçen 2r yarıçaplı halka

Şekil 2.41: Üzerinden aynı akım geçen farklı yarıçaplı halkalar

Düz telin çevresinde oluşan manyetik alan şiddeti telden uzaklaştıkça azalır. Benzer şekilde halkanın yarıçapı arttırıldığında da halka merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti, tel halkanın merkezinden uzaklaştığı için azalır. i akımı geçen r yarıçaplı halkanın merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti B ise halkanın yarıçapı iki katına çıkarılırsa manyetik alan şiddeti yarıya iner ve B/2 olur (Şekil 2.41).



a) Üzerinden i akımı geçen r yarıçaplı halka

b) Üzerinden $2i$ akımı geçen r yarıçaplı halka

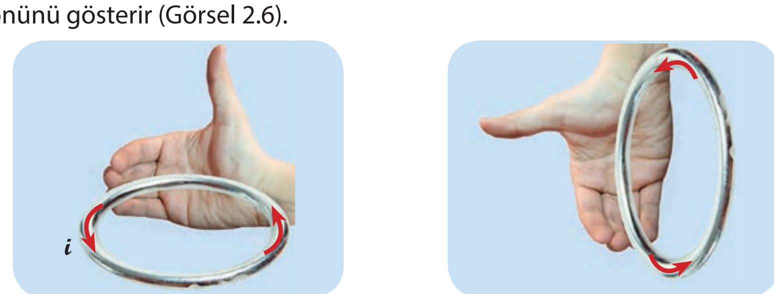
Şekil 2.42: Üzerinden farklı akım geçen aynı yarıçaplı halkalar

Düz telin çevresinde oluşan manyetik alan şiddeti telden geçen akım arttıkça artar. Benzer şekilde halkadan geçen akım şiddeti arttırıldığında da halka merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti artar. i akımı geçen r yarıçaplı halkanın merkezinde oluşan manyetik alan şiddetinin büyüklüğü B ise $2i$ akımı geçen halkanın merkezinde oluşan manyetik alan şiddetinin büyüklüğü 2B olur (Şekil 2.42).

Halkanın içinde bulunduğu ortamın manyetik geçirgenliği de manyetik alanın değişmesine neden olur. Üzerinden i akımı geçen r yarıçaplı halkanın merkezinde oluşan manyetik alanın şiddeti

$$B = \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r}$$ bağıntısıyla bulunur.

Halkanın merkezindeki manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur. Bu kurala göre sağ elin dört parmağı akımın dönme yönünü gösterecek şekilde iletken halka avuç içine yerleştirildiğinde dik olarak açılan başparmak manyetik alanın yönünü gösterir (Görsel 2.6).



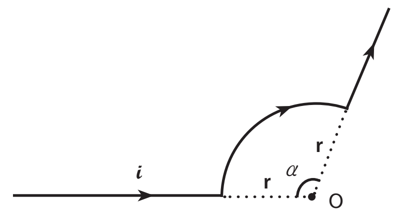
a) Yatay düzlemde

b) Düşey düzlemde

Görsel 2.6: Halkanın manyetik alanının yönünün sağ el kuralı ile gösterimi

Üzerinden akım geçen tel tam halka şeklinde olmayabilir (Şekil 2.43). Bu durumda halkanın merkezindeki alan şiddeti

$B = \left(\frac{\alpha}{360}\right)\frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r}$ bağıntısı ile bulunur.

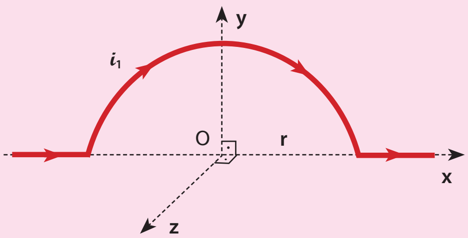


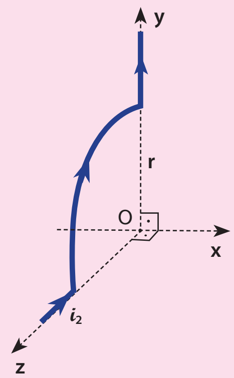
Şekil 2.43: r yarıçaplı halkanın bir bölümü

37. ALIŞTIRMA

Üç boyutlu koordinat sisteminde yarım halka ve çeyrek halka şeklindeki iletken tellerden şekildeki yönlerde akımlar geçmektedir. i_1 akımı geçen yarım halka xy düzleminde, i_2 akımı geçen çeyrek halka ise yz düzlemindedir.

Buna göre halkaların O noktasında oluşturduğu manyetik alanlar hangi yöndedir?



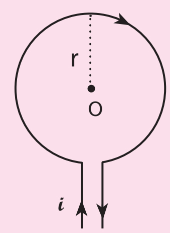


ÇÖZÜM

38. ALIŞTIRMA

Sayfa düzleminde bulunan r yarıçaplı halkadan şekilde belirtilen yönde i şiddetinde akım geçmektedir. Bu durumda O noktasında oluşan manyetik alan B büyüklüğündedir. Halka üzerinde yapılan bazı değişikliler tabloda verilmiştir.

Buna göre değişiklikler ayrı ayrı yapıldığında manyetik alanın yön ve büyüklüğünün ne şekilde değişeceğini tablodaki boş yerlere yazınız.

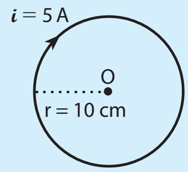


ÇÖZÜM

Yapılan Değişiklik	Manyetik Alanın Yönü (Değişir/Değişmez)	Manyetik Alanın Şiddeti (Artar/Azalır/Değişmez)
Halkanın yarıçapını arttırmak		
Halkadan geçen akım şiddetini azaltmak		
Halkadan geçen akımın yönünü değiştirmek		

27. ÖRNEK

Sayfa düzleminde bulunan ve üzerinden 5 A akım geçen 10 cm yarıçaplı halkanın merkezinde oluşan manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.



Buna göre $\vec{B}$ manyetik alanının yönü ve büyüklüğü nedir?

($K = 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ ve $\pi = 3$ alınız.)

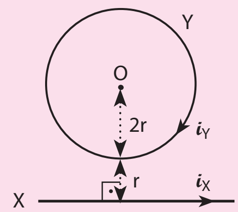
ÇÖZÜM

Sağ el kuralı halkaya uygulandığında manyetik alanın yönü sayfa düzleminden içeri doğru ⊗ olur.

Manyetik alanın büyüklüğü $B = \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5}{0,1} = 3x10^{-5}$ T olarak bulunur.

39. ALIŞTIRMA

Doğrusal X teli ile 2r yarıçaplı çembersel Y teli aynı düzlemdedir. Tellerden şekilde verilen yönlerde i_X ve i_Y akımları geçtiğinde O noktasındaki bileşke manyetik alan sıfır olmaktadır.

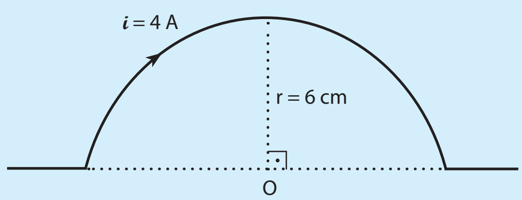


Buna göre tellerden geçen akımların $\frac{i_X}{i_Y}$ oranı kaçtır? ($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

28. ÖRNEK

Sayfa düzleminde bulunan ve üzerinden 4 A akım geçen 6 cm yarıçaplı yarım halkanın merkezinde oluşan manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.



Buna göre oluşan manyetik alanın yönü ve büyüklüğü nedir? ($K = 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ ve $\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

Halkaya sağ el kuralı uygulandığında manyetik alanın yönü sayfa düzleminden içeri doğru olur. Halkanın tam olması durumunda merkezdeki manyetik alanın büyüklüğü

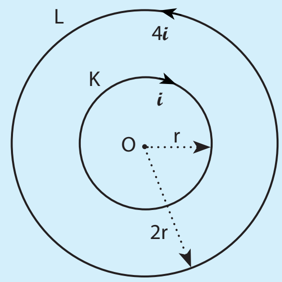
$$B = \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{0,06} = 4x10^{-5} \text{ T}$$ olarak bulunur.

Halka yarım olduğu için manyetik alanın büyüklüğü de yarıya düşer.

$$B_O = \frac{B}{2} = \frac{4x10^{-5}}{2} = 2x10^{-5} \text{ T}$$ olarak bulunur.

29. ÖRNEK

Sayfa düzleminde bulunan yarıçapları r ve 2r olan K ve L halkaları merkezleri O noktası olacak şekilde yerleştirilmiştir. Halkalardan sırasıyla i ve $4i$ şiddetinde akımlar belirtilen yönlerde geçmektedir.



Buna göre K halkasının O noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü B ise O noktasındaki bileşke manyetik alanın büyüklüğü kaç B olur?

ÇÖZÜM

Sağ el kuralına göre K halkasının O noktasında oluşturduğu manyetik alanın yönü sayfa düzleminden içeri doğru, L halkasınınki ise sayfa düzleminden dışarı doğrudur. K ve L halkasının O noktasında oluşturduğu manyetik alanların büyüklüğü B_K ve B_L ise

$B_K = \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r} = B$ şiddetinde ve sayfa düzleminden içe ⊗ doğrudur.

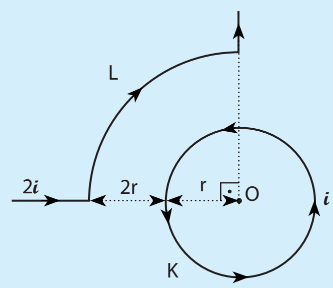
$B_L = \frac{K \cdot 2\pi \cdot 4i}{2r} = 2B$ şiddetinde ve sayfa düzleminden içe ⊙ doğrudur.

Manyetik alan vektörleri zıt yönlü olduğu için O noktasındaki bileşke manyetik alan

$B_O = 2B - B = B$ şiddetinde ve sayfa düzleminden içe ⊙ doğrudur.

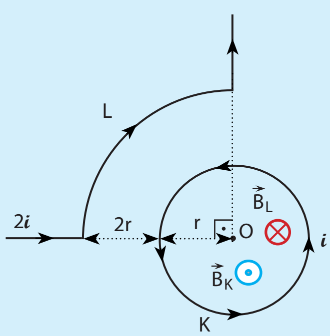
30. ÖRNEK

Sayfa düzlemindeki O merkezli K ve L tellerinden şekilde verilen yön ve şiddetlerde akımlar geçmektedir.



K telinin O noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü B olduğuna göre O noktasındaki bileşke manyetik alanın büyüklüğü kaç B olur?

ÇÖZÜM



O noktasında K teli sayfa düzleminden dışarı doğru, L teli ise sayfa düzleminden içeri doğru bir manyetik alan oluşturur. Bileşke manyetik alan tellerin oluşturduğu manyetik alanların vektörel olarak toplanmasıyla bulunur.

$B_K = \frac{K \cdot 2\pi \cdot i}{r} = B$ ⊙ yönünde olur.

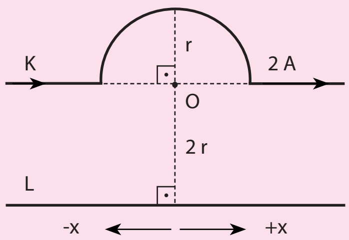
$B_L = \left(\frac{\alpha}{360}\right)\frac{K \cdot 2\pi \cdot 2i}{3r} = \frac{1}{4}\,\frac{K \cdot 4\pi \cdot i}{3r} = \frac{K \cdot \pi \cdot i}{3r} = \frac{B}{6}$ ⊗ yönünde olur.

$B_O = B - \frac{B}{6} = \frac{5B}{6}$ ⊙ yönünde olur.

40. ALIŞTIRMA

Aynı düzlemdeki 2 A'lik akım geçen yarım halka biçimindeki K teli ile düz L telinin O noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan sıfırdır.

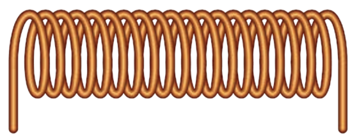
Buna göre L telinden geçen akımın yönü nedir ve büyüklüğü kaç A olur? ($\pi = 3$ alınız.)



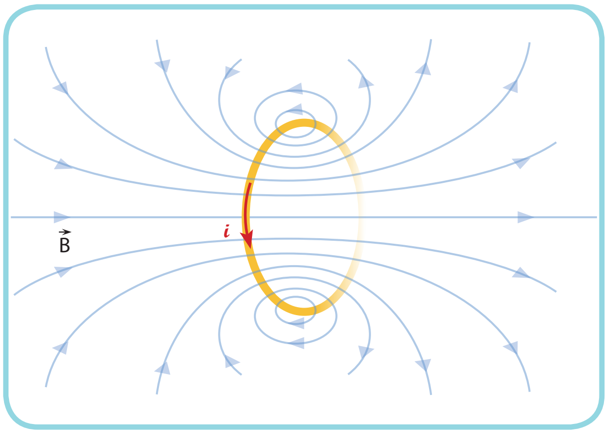
ÇÖZÜM

C) ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN AKIM MAKARASININ (BOBİN) MERKEZ EKSENİNDE OLUŞAN MANYETİK ALAN

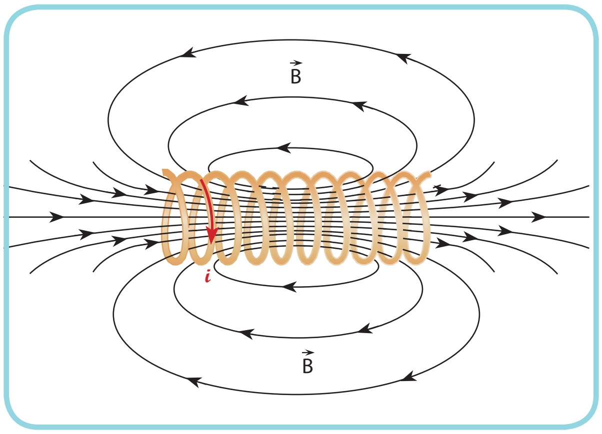
İletken ve düz bir telin silindir şeklinde sarılması ile oluşturulan araçlara **akım makarası** denir (Şekil 2.44). Akım makarası, bobin ya da selenoid olarak da isimlendirilir. Mekanik kapı zili, elektrik motoru, radyo ve jeneratör gibi cihazlarda kullanılır.



Şekil 2.44: Akım makarası



Şekil 2.45: Üzerinden akım geçen bir halkanın manyetik alan çizgileri



Şekil 2.46: Üzerinden akım geçen bir akım makarasının manyetik alan çizgileri

Akım makarası üzerindeki halkaların her biri sarım olarak da adlandırılır. Akım makarasının oluşturduğu manyetik alan çizgileri ile bir akım halkasının oluşturduğu manyetik alan çizgileri benzerdir (Şekil 2.45). Makaradan akım geçtiğinde her bir halka merkezinde manyetik alan oluşur. Tüm halkaların oluşturduğu manyetik alanların vektörel toplamı ile akım makarasının merkez ekseni boyunca düzgün sayılabilecek bir manyetik alan oluşur. Aynı zamanda makaranın çevresinde zayıf bir manyetik alan oluşur (Şekil 2.46).

? Akım geçen akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanı etkileyen değişkenler nelerdir?



a) Üzerinden i akımı geçen akım makarası

b) Üzerinden $2i$ akımı geçen akım makarası

Şekil 2.47: Üzerinden farklı akımlar geçen akım makaraları

Sarım sayısı N, sarımının uzunluğu ℓ olan akım makarasından i akımı geçmektedir (Şekil 2.47.a). Makaradan geçen akım şiddeti iki katına çıkarıldığında her bir halkanın merkezinde oluşan manyetik alan şiddetinin artması sonucunda makaranın merkez eksenindeki manyetik alanın şiddeti de artacaktır (Şekil 2.47.b). Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan şiddeti, akım şiddeti ile doğru orantılıdır.

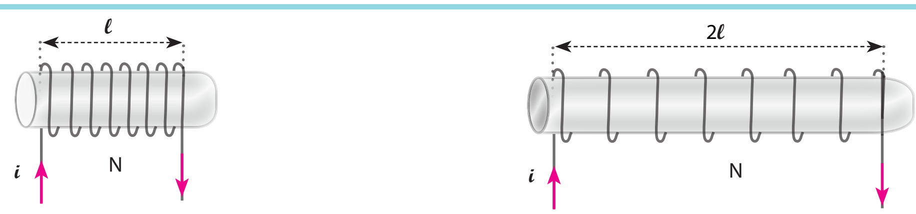


a) N_1 sarımlı akım makarası

b) N_2 sarımlı akım makarası

Şekil 2.48: Sarım sayıları farklı akım makaraları

Sarım sayıları N_1, N_2 ve sarımlarının uzunluğu ℓ olan akım makaralarından aynı şiddette i akımı geçmektedir (Şekil 2.48). N_2 sarımlı makaranın merkez ekseninde manyetik alan oluşturan halka sayısı daha fazla olduğu için makaranın merkez ekseninde oluşan manyetik alanın şiddeti de daha fazla olur. Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan şiddeti, sarım sayısı ile doğru orantılıdır.



a) Sarım uzunluğu ℓ olan akım makarası

b) Sarım uzunluğu 2ℓ olan akım makarası

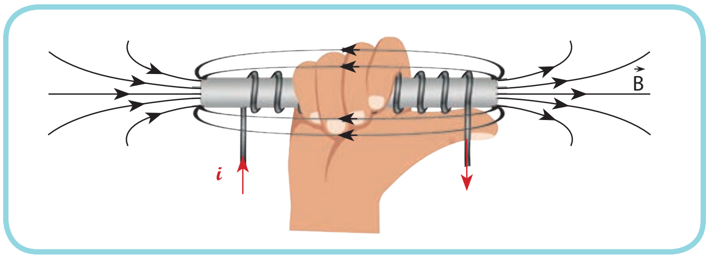
Şekil 2.49: Uzunlukları farklı akım makaraları

Sarımlarının uzunluğu ℓ, 2ℓ ve sarım sayıları N olan akım makaralarından aynı şiddette i akımı geçmektedir (Şekil 2.49). Makara üzerindeki sarım sayıları aynı olduğu hâlde sarım sıklığının farklı olmasından dolayı makaraların merkez ekseninde oluşan manyetik alan şiddetleri farklıdır. ℓ uzunluğundaki sarımların oluşturduğu manyetik alanın şiddeti daha fazladır. Akım makarasının merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti, sarım uzunluğu ile ters orantılıdır.

Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanın şiddetini etkileyen diğer bir etken, makara içindeki ortamın cinsidir. Akım makarasının ortasındaki boşluğa bir demir çubuk yerleştirildiğinde akım makarasının merkez eksenindeki manyetik alan şiddeti artar. Bunun nedeni, demir çubuğun manyetik geçirgenliğinin büyük olmasıdır. Manyetik geçirgenlik arttıkça manyetik alan sabiti de artar. Sarımların uzunluğu ℓ, sarım sayısı N olan ve üzerinden i akımı geçen akım makarasının merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti

$$B = N\frac{K \cdot 4\pi \cdot i}{\ell}$$

bağıntısıyla bulunur.



Şekil 2.50: Akım makarasında manyetik alan çizgileri ve sağ el kuralı

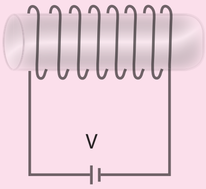
Akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanın yönü halkada olduğu gibi sağ el kuralı ile bulunur. Dört parmak akım yönünü gösterecek şekilde makara sağ elin avuç içine yerleştirildiğinde dik açılan başparmak manyetik alanın yönünü gösterir (Şekil 2.50).

41. ALIŞTIRMA

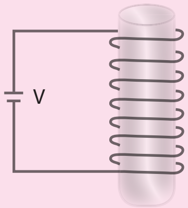
Şekil I ve Şekil II'deki gibi verilen iki akım makarasının üzerinden akım geçmektedir.

Buna göre makaraların merkez ekseninde oluşan manyetik alanın yönünü makaraların üzerine çiziniz.

ÇÖZÜM

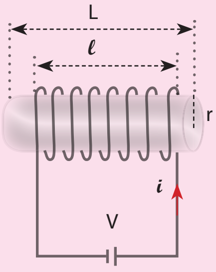


Şekil I



Şekil II

42. ALIŞTIRMA



Yarıçapı r, uzunluğu L olan silindir şeklindeki yalıtkan cisim ve iletken tel kullanılarak sarım sayısı N, sarımlarının uzunluğu ℓ olan akım makarası oluşturulmuştur. Akım makarası üretece bağlanarak telden i akımı geçmesi sağlanmıştır. Bu durumda akım makarasının merkez ekseninde manyetik alan oluşmaktadır. Akım makarası üzerinde yapılan bazı değişiklikler tabloda verilmiştir.

Değişiklerin her biri ayrı ayrı yapıldığında makaranın merkez eksenindeki manyetik alanın yönünün ve büyüklüğünün ne şekilde etkileneceğini tablodaki boş yerlere yazınız.

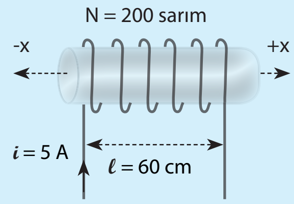
ÇÖZÜM

Yapılan Değişiklik	Manyetik Alanın Yönü (Değişir/Değişmez)	Manyetik Alanın Şiddeti (Artar/Azalır/Değişmez)
r yarıçapını arttırmak		
i akım şiddetini arttırmak		
N sarım sayısını azaltmak		
ℓ uzunluğunu arttırmak		
i akımının yönünü değiştirmek		

31. ÖRNEK

Sarım sayısı 200 ve sarımların uzunluğu 60 cm olan akım makarasından 5 A akım geçmektedir.

Buna göre akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alanın yönü ve şiddeti nedir? ($K = 10^{-7}\ \frac{T.m}{A}$ ve $\pi = 3$ alınız.)



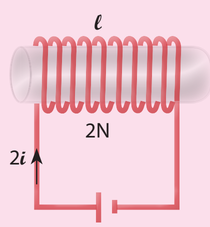
ÇÖZÜM

Sağ el kuralına göre manyetik alan +x yönündedir. Şiddeti ise

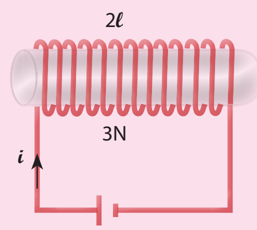
$$B = N\frac{K \cdot 4\pi \cdot i}{\ell} = 200\,\frac{10^{-7} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 5}{0,6} = 2x10^{-3}\ T \text{ olarak bulunur.}$$

43. ALIŞTIRMA

X ve Y akım makaralarının sarım sayıları sırayla 2N ve 3N, sarım uzunlukları ℓ ve 2ℓ olup makaraların üzerlerinden geçen akımlar $2i$ ve i'dir.



Şekil I: X Makarası



Şekil II: Y Makarası

Buna göre X makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan $\vec{B}_X$, Y makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan $\vec{B}_y$ olduğuna göre $\frac{B_X}{B_Y}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

44. ALIŞTIRMA

Sarımlarının uzunluğu 50 cm olan 1 000 sarımlı akım makarasından 5 A'lik akım geçmektedir.

Buna göre akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan şiddeti kaç T olur?

($K = 10^{-7}\ \frac{T.m}{A}$ ve $\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

Ç) ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN DÜZ TELE MANYETİK ALANDA ETKİ EDEN KUVVET

İki çubuk mıknatıs birbirine yaklaştırıldığında aralarında itme veya çekme şeklinde bir manyetik kuvvet etkin hâle gelir. Üzerinden akım geçen düz tel de mıknatıs gibi etrafında bir manyetik alan oluşturur. Üzerinden akım geçen düz tel, kendi manyetik alanıyla birlikte başka bir alan içerisinde ise tele manyetik bir kuvvet etki edebilir.



a) Üzerinden akım geçmeyen telin mıknatısın manyetik alanındaki denge durumu



b) Akımın geçme yönüne göre telin mıknatısın içine doğru çekilmesi

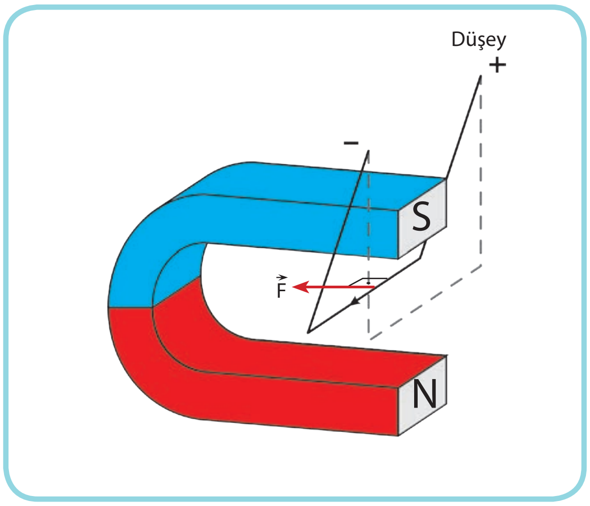


c) Akımın geçme yönüne göre telin mıknatısın dışına doğru itilmesi

Görsel 2.7: Düz telin mıknatısın manyetik alanındaki farklı konumları

Yatay düzleme sabitlenen U mıknatıs, iletken tel ve bağlantı kablolarıyla hazırlanan bir düzenekte telden akım geçmediğinde tel düşey konumda dengede kalır (Görsel 2.7.a). İletken telden akım geçtiğinde telin mıknatısın içine ya da dışına doğru saptığı görülür. Telin farklı yönlere saparak dengelenmesinin nedeni ise telden farklı yönlerde akım geçmesidir (Görsel 2.7.b,c). Bu değişim, telin mıknatıs kutuplarının arasında kalan kısmına bir kuvvetin etki ettiğini gösterir. Devreden akım geçtiğinde tele kuvvet etki etmesi kuvvetin kaynağının hareketli yükler olduğunu gösterir.

? Üzerinden akım geçen düz tele etki eden manyetik kuvvetin şiddetini etkileyen değişkenler nelerdir?



Şekil 2.51: Üzerinden akım geçen iletken tele manyetik alanda etkiyen kuvvet

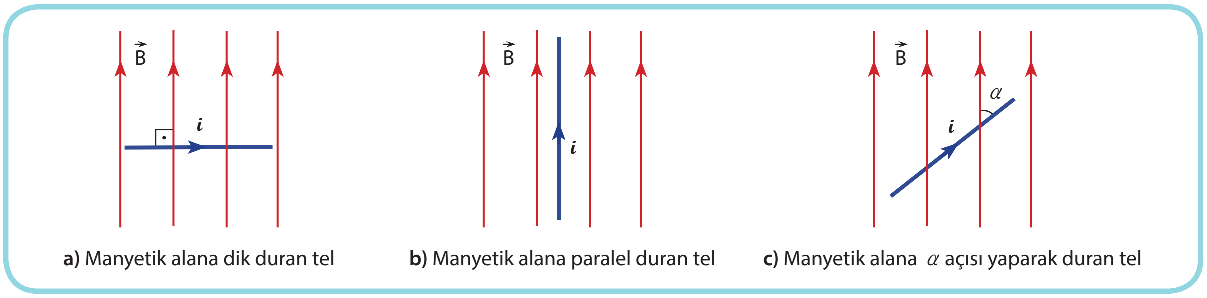
Şekil 2.51'deki düzenekte telden geçen akım şiddeti arttırıldığında telin düşey denge konumuna olan uzaklığının arttığı gözlenir. Bu durum tele etki eden manyetik kuvvetin artması ile açıklanabilir. Manyetik alan içinde üzerinden akım geçen tele etki eden kuvvetin büyüklüğü, telden geçen akım şiddetiyle doğru orantılıdır.

Düzenekteki U mıknatısı yerine kutup şiddeti daha fazla olan bir U mıknatıs kullanıldığında da telin düşey denge konumuna olan uzaklığının arttığı gözlenir. Bu değişim telin içinde bulunduğu manyetik alan şiddetinin artmasıyla açıklanabilir. Üzerinden akım geçen tele etki eden kuvvetin büyüklüğü, telin bulunduğu manyetik alanın şiddeti ile doğru orantılıdır.

Ayrıca telin manyetik alan içinde kalan uzunluğu değişirse tele etki eden manyetik kuvvet de değişir. Manyetik alanın kuvvet uyguladığı tel parçasının uzunluğunun artması ile manyetik kuvvet de artar. Üzerinden akım geçen tele etki eden kuvvetin büyüklüğü, telin manyetik alan içindeki uzunluğu ile doğru orantılıdır.

Bütün bu açıklamalar sonucunda B büyüklüğündeki düzgün manyetik alan içinde bulunan ℓ uzunluğundaki telden i şiddetinde akım geçtiğinde tele etki eden manyetik kuvvetin matematiksel modeli $\vec{F} = i \cdot \vec{\ell} \times \vec{B}$ şeklinde olur. Manyetik kuvvetin büyüklüğü bulunurken ifade

$F = B \cdot i \cdot \ell$ şeklinde kullanılır.

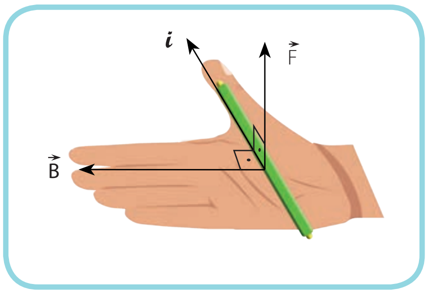


Şekil 2.52: Düzgün manyetik alan içinde üzerinden akım geçen teller

Telin manyetik alan içindeki konumu değişirse manyetik kuvvetin şiddeti de değişir. Tel manyetik alana dik olarak yerleştirildiğinde manyetik kuvvetin büyüklüğü maksimum değerini alır (Şekil 2.52.a). Tel manyetik alana paralel olarak yerleştirilirse tele manyetik kuvvet etki etmez (Şekil 2.52.b). Manyetik kuvvet, iletken tel ile manyetik alan arasındaki açıya göre değişir (Şekil 2.52.c). Bu durumda manyetik kuvvetin büyüklüğü

$F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ şeklinde olur.

Manyetik kuvvet, hem manyetik alana hem de akım geçen iletken tele dik olacak şekilde oluşur. Manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin başparmağı akımın yönünü, diğer dört parmak ise dış manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda tele etkiyen manyetik kuvvet avuç içine dik yönde olur (Şekil 2.53).

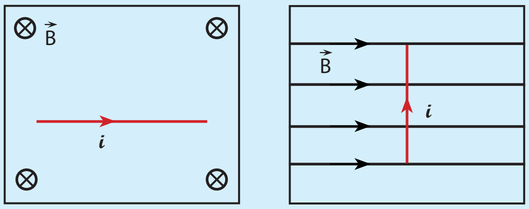


Şekil 2.53: Manyetik alan içinde üzerinden akım geçen tele etkiyen kuvvet için sağ el kuralı

32. ÖRNEK

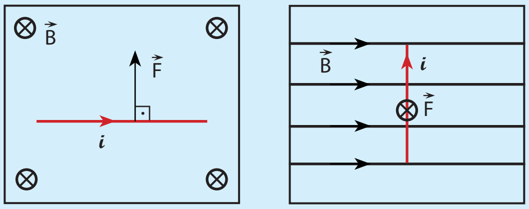
Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanlarında bulunan tellerden şekildeki yönlerde i şiddetinde akımlar geçmektedir.

Buna göre tellere etkiyen manyetik kuvvetlerin yönü nedir?



ÇÖZÜM

Sağ el kuralına göre başparmak akımı, diğer parmaklar manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda manyetik kuvvetlerin yönü şekildeki gibi olacaktır.

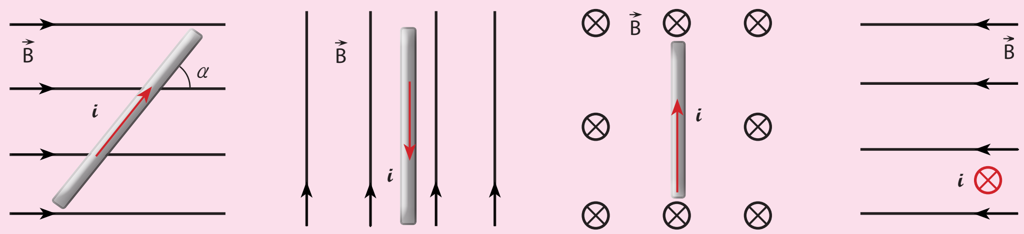


45. ALIŞTIRMA

Üzerinden şekildeki yönlerde i akımı geçen teller düzgün manyetik alanların içindedir.

Buna göre tellere etki eden manyetik kuvvetlerin yönünü şekiller üzerine çiziniz.

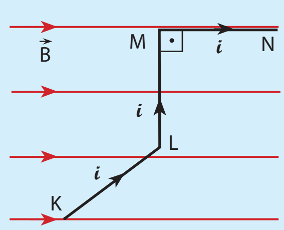
ÇÖZÜM



33. ÖRNEK

Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanının içinde bulunan şekildeki gibi bükülmüş telden i şiddetinde akım geçmektedir. Telin KL, LM ve MN uzunluklarına etki eden manyetik kuvvetler sırasıyla $\vec{F}_{KL}$, $\vec{F}_{LM}$ ve $\vec{F}_{MN}$'dir.

Buna göre KL, LM ve MN uzunlukları eşit olduğuna göre telin parçalarına uygulanan manyetik kuvvetlerin büyüklüklerini sıralayınız.

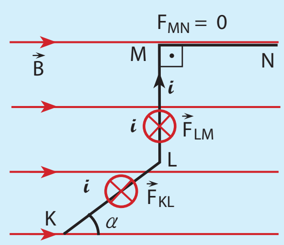


ÇÖZÜM

Üzerinden akım geçen tele etkiyen kuvvet; telden geçen akım şiddetine, manyetik alan şiddetine ve telin manyetik alan ile yaptığı açıya bağlı olarak değişir. Tellere etki eden kuvvetlerin büyüklükleri arasındaki ilişki

$F_{KL} = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ $\quad F_{LM} = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin 90° = B \cdot i \cdot \ell$ $\quad F_{MN} = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin 0° = 0$

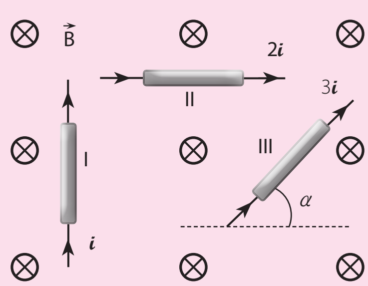
$F_{LM} > F_{KL} > F_{MN}$ olur.



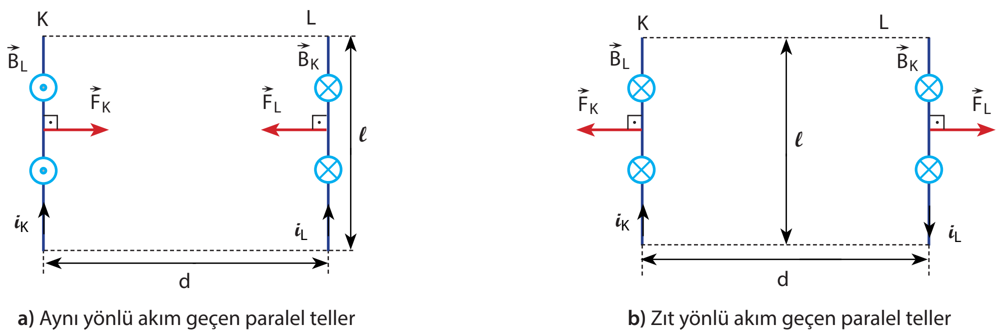
46. ALIŞTIRMA

Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanında bulunan eşit uzunluktaki I, II ve III numaralı tellerden sırasıyla i, $2i$ ve $3i$ akımları geçmektedir.

Buna göre tellere etki eden manyetik kuvvetler $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ arasındaki büyüklük sıralaması nedir?



ÇÖZÜM



Şekil 2.54: Üzerinden akım geçen paralel teller

Aynı yönlü i_K ve i_L akımları geçen ℓ uzunluğundaki K ve L telleri paralel olarak yerleştirilmiştir (Şekil 2.54.a). K teli, sağ el kuralına göre L telinin bulunduğu tarafta sayfa düzlemine dik ve içeri doğru sabit büyüklükte $\vec{B}_K$ manyetik alanını oluşturur. K telinin oluşturduğu dış manyetik alan içinde kalan ve üzerinden akım geçen L teline manyetik kuvvet etki eder. Bu kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunursa L teline etkiyen kuvveti $\vec{F}_L$ olur. Aynı şekilde L teli de K telinin bulunduğu tarafta sayfa düzlemine dik ve dışarı doğru sabit büyüklükte $\vec{B}_L$ manyetik alanını oluşturur. Akım geçen K teline de L telinin oluşturduğu manyetik alandan dolayı manyetik kuvvet etki eder. Bu kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunursa K teline etkiyen kuvveti $\vec{F}_K$ olur. Üzerlerinden aynı yönlü akım geçen paralel tellere uygulanan manyetik kuvvetler telleri birbirine yaklaştıracak şekilde oluşur.

Benzer şekilde üzerlerinden zıt yönlü akım geçen teller de birbirine manyetik kuvvet uygular. Bu kuvvetler telleri birbirinden uzaklaştıracak yönde oluşur (Şekil 2.54.b).

$F_L = B_K \cdot i_L \cdot \ell$ eşitliğinde $B_K = \dfrac{K \cdot 2i_K}{d}$ yerine yazılırsa

$$F_L = \frac{K \cdot 2i_K}{d} \cdot i_L \cdot \ell$$

$$F_L = \frac{K \cdot 2i_K \cdot i_L}{d}\ell \text{ olur.}$$

$F_K = B_L \cdot i_K \cdot \ell$ eşitliğinde $B_L = \dfrac{K \cdot 2i_L}{d}$ yerine yazılırsa

$$F_K = \frac{K \cdot 2i_L}{d} \cdot i_K \cdot \ell$$

$$F_K = \frac{K \cdot 2i_L \cdot i_K}{d}\ell \text{ olur.}$$

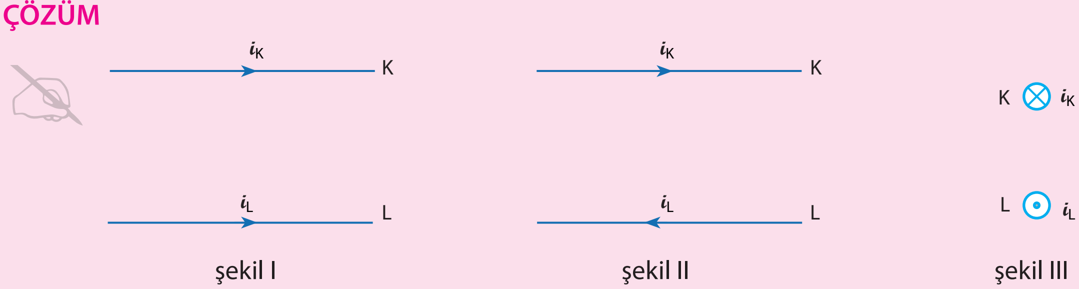
Teller birbirine akım şiddetleri ve uzunlukları ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklık ile ters orantılı olarak değişen bir kuvvet uygular. Kuvvetler eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.

47. ALIŞTIRMA

Birbirine paralel K ve L tellerinden şekil I, şekil II ve şekil III'te verilen yönlerde akımlar geçmektedir.

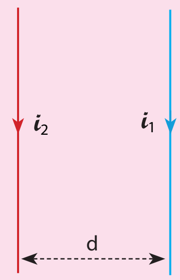
Buna göre her bir tele etki eden manyetik kuvvetlerin yönünü şekiller üzerine çiziniz.

ÇÖZÜM



48. ALIŞTIRMA

Sayfa düzleminde bulunan, üzerlerinden belirtilen yönde i_1 ve i_2 şiddetinde akım geçen eşit uzunluktaki teller birbirine paralel ve aralarındaki uzaklık d'dir. Bu durumda i_2 akımı geçen telin i_1 akımı geçen tele uyguladığı kuvvet $\vec{F}$ 'dir. Düzenekte yapılan bazı değişikliler tabloda verilmiştir.

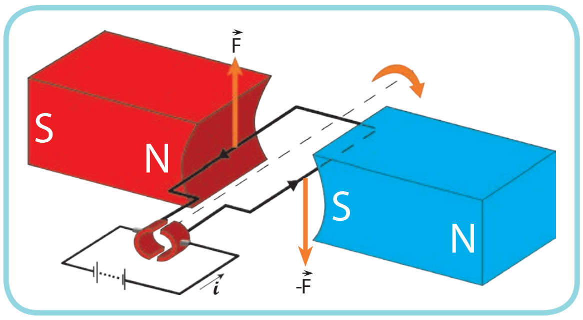


Buna göre tablodaki değişikliklerinin ayrı ayrı yapılması durumunda $\vec{F}$ kuvvetinin yön ve büyüklüğünün nasıl değişeceğini tablodaki boş yerlere yazınız.

ÇÖZÜM

Yapılan Değişiklik	Kuvvetin Yönü (Değişir/Değişmez)	Kuvvetin Büyüklüğü (Artar/Azalır/Değişmez)
d uzaklığını azaltmak		
i_1 akımının şiddetini azaltmak		
i_2 akımının yönünü değiştirmek		

D) MANYETİK ALAN İÇERİSİNDE ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN DİKDÖRTGEN TEL ÇERÇEVEYE ETKİ EDEN KUVVETİN DÖNDÜRME ETKİSİ



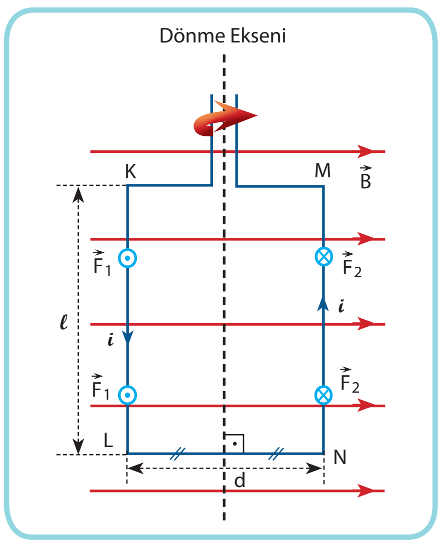
Şekil 2.55: Basit elektrik motoru modeli

Basit bir elektrik motoru düzeneğinde iletken düz bir tel, dikdörtgen tel çerçeve şekline getirilerek mıknatısın kutuplarının arasına yerleştirilir. Tel çerçeveden akım geçmesi sağlandığında çerçevenin kenarlarına Şekil 2.55'teki gibi manyetik kuvvetler etki eder. Bu kuvvetlerin oluşturacağı tork sayesinde çerçeve manyetik alan içinde dönmeye başlar. Böylece elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüşür.

İletken düz bir tel, şekildeki gibi tel çerçeve hâline getirilerek düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına yerleştirilmiştir (Şekil 2.56). Çerçeveden şekilde verilen yönde i akımı geçtiğinde çerçevenin manyetik alana dik olan KL ve MN kenarına manyetik kuvvet etki eder. Manyetik alana paralel olan diğer kenarlarına manyetik kuvvet etki etmez. Sağ el kuralına göre KL kenarına sayfa düzleminden dışarı doğru $\vec{F}_1$, MN kenarına ise sayfa düzleminden içeri doğru $\vec{F}_2$ kuvveti etki eder. Bu kuvvetler çerçevenin dönmesini sağlayan torkun oluşumunda etkilidir. Büyüklükleri eşit bu kuvvetler çerçevenin dönme ekseni etrafında sürekli dönmesini sağlar. Sürtünmelerin ihmal edilmesi durumunda üzerinden i şiddetinde akım geçen, yüzey alanı A = ℓ . d olan çerçeveye $\vec{B}$ manyetik alanı içinde etki eden torkun büyüklüğü

$$\tau = F\frac{d}{2} + F\frac{d}{2} = F \cdot d \Rightarrow \tau = B \cdot i \cdot \ell \cdot d$$

$\tau = B \cdot i \cdot A$ olur.



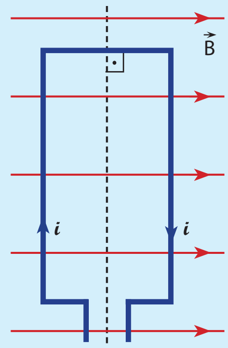
Şekil 2.56: Düzgün manyetik alanda çerçeveye etki eden tork

Torkun büyüklüğü; çerçevenin konulduğu manyetik alanın şiddeti, çerçeveden geçen akım şiddeti ve çerçevenin alanı ile doğru orantılıdır. Ayrıca üst üste birden çok çerçeve kullanılarak oluşan torkun artması sağlanabilir. Üst üste konmuş N tane çerçevede oluşan toplam torkun büyüklüğü

$\tau = N \cdot B \cdot i \cdot A$ şeklinde olur.

34. ÖRNEK

Bir iletken çerçeveden i akımı geçmektedir. Yüzey alanı A olan çerçeve, B büyüklüğündeki düzgün manyetik alana konulduğunda O ekseni etrafında dönmektedir.



Sürtünmeler ihmal edildiğine göre

a) Çerçeveden geçen akım şiddeti arttırılırsa çerçeveye etki eden toplam tork nasıl değişir?

b) Çerçevenin içinde bulunduğu manyetik alanın şiddeti arttırılırsa çerçeveye etki eden toplam tork nasıl değişir?

c) Manyetik alan içinde kalmak şartıyla çerçevenin konumu değiştirilmeden çerçevenin kenar uzunlukları arttırılırsa çerçeveye etki eden toplam tork nasıl değişir?

ÇÖZÜM

Akım geçen iletken çerçeveye etkiyen toplam torkun büyüklüğü; akım şiddeti, yüzey alanı ve manyetik alan şiddeti ile doğru orantılıdır. O hâlde $\tau = N \cdot B \cdot i \cdot A$ ifadesine göre

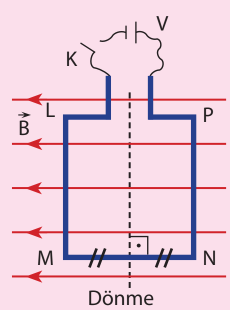
a) Akım şiddeti arttığı için toplam tork artar.

b) Manyetik alan şiddeti arttığı için toplam tork artar.

c) Çerçevenin yüzey alanı arttığı için toplam tork artar.

49. ALIŞTIRMA

İletken çerçeve düzgün $\vec{B}$ manyetik alanının içine yerleştirilerek üretece bağlanmıştır. Düşey düzlemdeki iletken LMNP çerçevesi, dönme ekseni etrafında dönebilmektedir.



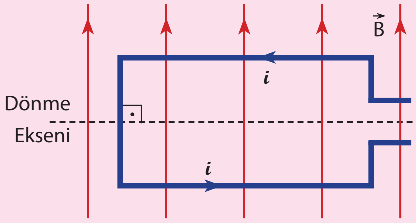
Sürtünmeler ihmal edildiğine göre K anahtarı kapatıldığında çerçeveye etki eden kuvvetleri çizip manyetik alan içindeki çerçevenin hareketini yorumlayınız.

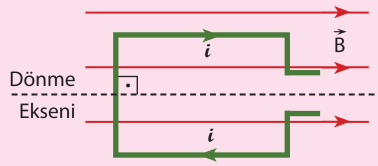
ÇÖZÜM



50. ALIŞTIRMA

Üzerinden *i* şiddetinde akım geçen tel çerçeveler, düzgün manyetik alan içine yerleştirilmiştir.



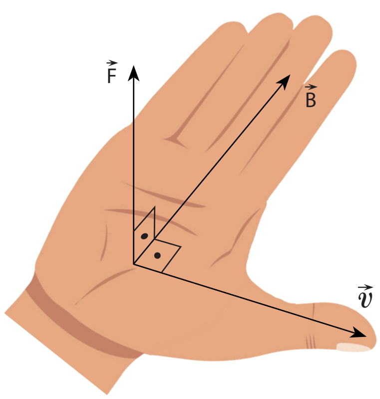


Buna göre çerçevelere etki eden manyetik kuvvetleri çizip çerçevelerin hareketlerini yorumlayınız.

ÇÖZÜM

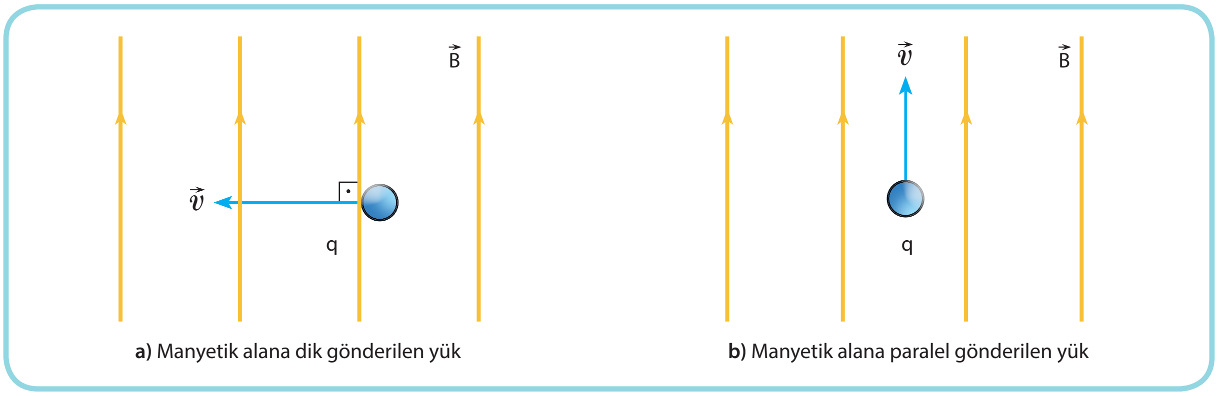
E) YÜKLÜ PARÇACIKLARIN MANYETİK ALAN İÇİNDEKİ HAREKETİ

Manyetik alan içindeki, üzerinden akım geçen tele manyetik bir kuvvet etki edebilir. Aslında bu kuvvet, tele değil; tel üzerinde hareket eden yüklere uygulanır. Tele etkiyen manyetik kuvvet, yüklere etki eden kuvvetlerin bileşkesidir. Düzgün bir manyetik alan içinde hareket eden yüklü parçacığa etki eden kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunur.



Şekil 2.57: Manyetik alan içinde hareket eden pozitif yüke etkiyen kuvvet için sağ el kuralı

Bu kurala göre sağ el Şekil 2.57'deki gibi açılarak sağ elin başparmağı yükün hızının yönünü, diğer dört parmak manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içi pozitif yüke etkiyen manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Negatif yükler için ise sağ el kuralı uygulanırken başparmak yükün hareket yönünün tersi yönünde tutulur. Yüke etkiyen manyetik kuvvet, yükün hız vektörü ve manyetik alan her zaman birbirine dik olur.

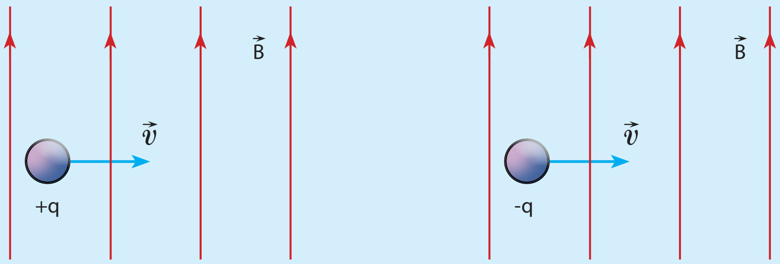


Şekil 2.58: Düzgün manyetik alanda hareket eden yükler

Düzgün manyetik alan içerisindeki hareketli yüke etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü; manyetik alan şiddeti ($\vec{B}$), yük miktarı (q) ve yükün hızı ($\vec{v}$) ile doğru orantılıdır. Manyetik kuvvet aynı zamanda hız vektörü ile manyetik alan vektörü arasındaki açıya bağlı olarak değişir. Yüklü parçacık manyetik alana dik olarak girdiğinde yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvet en büyük değerini alır (Şekil 2.58.a). Yüklü parçacık manyetik alana paralel olarak girdiğinde ise yüklü parçacığa manyetik kuvvet etki etmez (Şekil 2.58.b).

35. ÖRNEK

Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına $\vec{v}$ hızıyla Şekil I'deki gibi +q ve Şekil II'deki gibi –q yükleri gönderilmiştir.



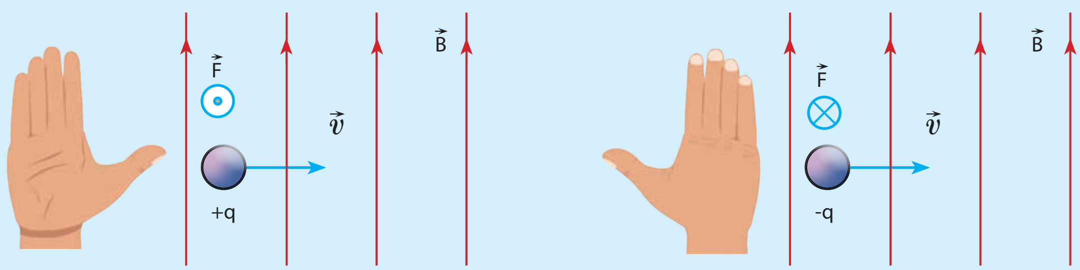
Şekil I

Şekil II

Buna göre yüklere etki eden manyetik kuvvetlerin yönünü bulunuz.

ÇÖZÜM

Şekildeki gibi sağ elin başparmağı hız vektörünü, diğer dört parmak manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içi pozitif yüke etki eden manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Negatif yüke sağ el kuralı uygulanırken başparmak yükün hareket yönünün tersi yönde, dört parmak manyetik alan yönünde tutulduğunda avuç içi negatif yüke etki eden manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Bu durumda +q yüküne etki eden kuvvet sayfa düzleminden dışarı doğru, -q yüküne etki eden kuvvet sayfa düzleminden içeri doğrudur.

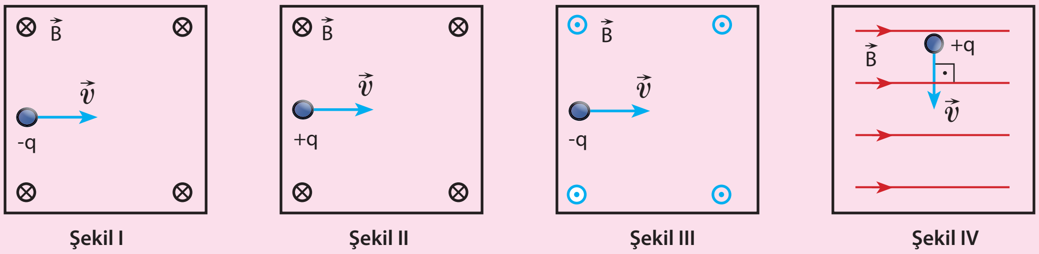


Şekil I

Şekil II

51. ALIŞTIRMA

Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanları içine +q ve -q yükleri v büyüklüğündeki hızlarla gönderilmektedir.

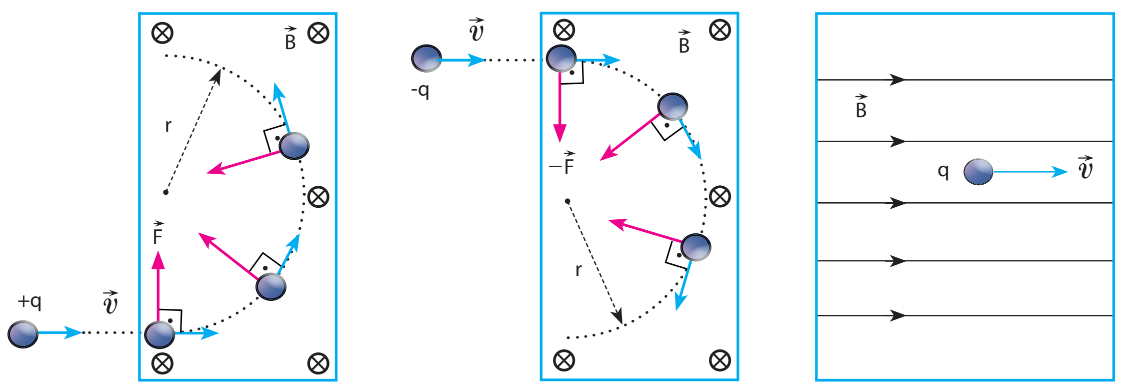


Buna göre yüklere etki eden manyetik kuvvetin yönünü sağ el kuralını kullanarak bulunuz.

ÇÖZÜM

Yüklü parçacıklar manyetik alan içerisine girdiğinde ne şekilde hareket eder?

Düzgün manyetik alana dik olarak giren parçacığa her zaman parçacığın hız vektörüne dik bir manyetik kuvvet etki eder. Bu durumda parçacığın hızının büyüklüğü değişmezken yönü değişir. Bu nedenle manyetik alan içinde parçacık üzerinde yapılan iş sıfır olduğundan parçacığın kinetik enerjisi değişmez. Manyetik kuvvet parçacığın hareket yörüngesinin değişmesine neden olur.



Şekil 2.59: Düzgün manyetik alanda hareket eden yükler

Kütlesi m ve yükü +q olan parçacık, sabit $\vec{v}$ hızıyla sayfa düzleminden içeri doğru yönelmiş düzgün manyetik alana girmektedir (Şekil 2.59.a). Manyetik alana giren parçacığa manyetik kuvvet etki eder. Kuvvetin etkisiyle parçacık doğrusal hareketine devam edemez. Hızına dik olarak etkiyen kuvvet nedeniyle parçacık şekildeki gibi çembersel bir yörüngede hareketini sürdürür. Parçacığın yükü -q olduğunda yüke etki eden manyetik kuvvetin yönü değişeceğinden sadece parçacığın manyetik alandaki dönme yönü değişir (Şekil 2.59.b). Yüklü parçacık manyetik alana paralel doğrultuda girdiğinde manyetik kuvvet etki etmez ve parçacık doğrusal hareketine devam eder (Şekil 2.59.c). Parçacığın manyetik alan içindeki çembersel yörüngesinin yarıçapı; parçacığın kütlesine, hızının büyüklüğüne, yük miktarına ve manyetik alanın şiddetine bağlı olarak değişir.

Yük miktarları ve hızlarının büyüklüğü eşit olan iki parçacık aynı manyetik alana girdiğinde kütlesi büyük olan parçacık yarıçapı daha büyük bir yörüngede dolanır. Yük miktarları ve kütleleri eşit olan iki parçacık aynı manyetik alana girdiğinde hızı büyük olan parçacık yarıçapı daha büyük bir yörüngede dolanır.

Kütleleri ve hızlarının büyüklüğü eşit olan iki parçacık aynı manyetik alana girdiğinde yük miktarı büyük olan parçacık yarıçapı daha küçük bir yörüngede dolanır. Yük miktarları, hızlarının büyüklüğü ve kütleleri eşit olan iki parçacıktan daha şiddetli bir manyetik alana giren parçacık yarıçapı daha küçük bir yörüngede dolanır.

36. ÖRNEK

Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına, alana dik $\vec{v}$ hızıyla giren (-) yüklü parçacık r yarıçaplı yörüngede dolanmaktadır.

Buna göre

I. Manyetik alanın şiddetinin artmasıyla parçacığın yörünge yarıçapı artar.
II. Manyetik alan içinde parçacığın hızının büyüklüğü değişmez.
III. Manyetik alana giriş hızının artmasıyla parçacığın yörünge yarıçapı azalır.

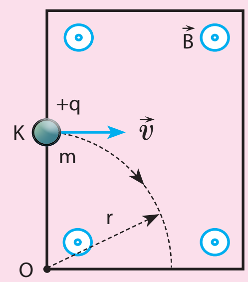
ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

Manyetik alanın şiddetinin artmasıyla r yarıçapı azalır. Alan içinde parçacığa etki eden manyetik kuvvet hız vektörüne dik olduğu için parçacığın hızının büyüklüğü değişmez. Parçacığın manyetik alana giriş hızının artmasıyla yörünge yarıçapı artar. Dolayısıyla II. ifade doğru, I ve III. ifade yanlıştır.

52. ALIŞTIRMA

Yüklü parçacıkların düzgün manyetik alandaki hareketini gözlemlemek amacıyla yapılan bir deneyde kütlesi m ve yükü +q olan parçacık, sabit v büyüklüğündeki hızla sayfa düzleminden dışarı doğru yönelmiş düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına gönderilmiştir. Yüklü parçacığın manyetik alan içinde O merkezli ve r yarıçaplı yörüngede hareket ettiği tespit edilmiştir.



Tabloda deneyde yapılması istenen değişiklikler verilmiştir. Değişikliklerin ayrı ayrı yapılması durumunda yüklü parçacığın yörünge yarıçapı ve dönme yönünü ne şekilde değiştireceğini tablodaki boş yerlere yazınız.

ÇÖZÜM

Yapılan Değişiklik	Yörünge Yarıçapı (Artar/Azalır/Değişmez)	Dönme Yönü (Değişir/Değişmez)
Parçacığın yük miktarını (q) arttırmak		
Parçacığın alana giriş hızını arttırmak		
Manyetik alan şiddetini azaltmak		
Deneyi -q yüklü parçacıkla yapmak		

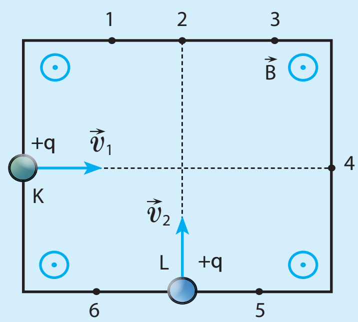
Manyetik kuvvetin teknolojide birçok kullanım alanı vardır. Tıpta görüntüleme tekniği olarak kullanılan ve MR olarak bilinen manyetik rezonans olayında manyetik kuvvetlerden yararlanılır. MR yumuşak dokuların görüntülenmesi amacıyla kullanılır. Dokularda yoğun olarak bulunan hidrojen atomlarındaki protonlara göre görüntü oluşturulur. Dokulardaki protonlar güçlü bir manyetik alana maruz bırakılarak titreştirilir. Titreşen protonların yaydığı ışımalar tespit edilerek görüntüye dönüştürülür.

ARAŞTIRMA KONUSU

Manyetik kuvvetin teknolojide kullanım alanları hakkında araştırma yaparak araştırma sonuçlarınızı arkadaşlarınızla paylaşınız.

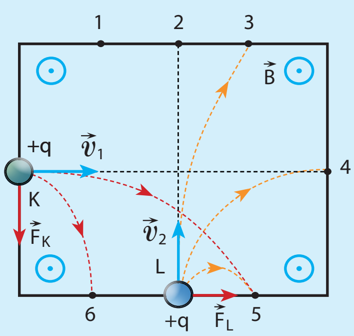
37. ÖRNEK

Sürtünmenin ve yükler arasındaki etkileşimin ihmal edildiği yatay düzlemde yükleri +q olan parçacıklar, sayfa düzleminden dışarı doğru yönelmiş düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına girmektedir.



Buna göre parçacıklar manyetik alanı hangi noktalardan geçerek terk edebilir?

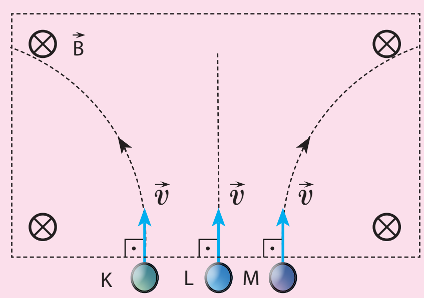
ÇÖZÜM



Sağ el kuralı uygulandığında parçacıklara etki eden kuvvetler şekildeki gibi olur. Bu kuvvetlerin etkisiyle K cismi 5 ve 6 numaralı noktalardan; L cismi ise 3, 4 ve 5 numaralı noktalardan geçerek manyetik alanı terk edebilir.

53. ALIŞTIRMA

q_K, q_L ve q_M yüklü parçacıklar düzgün bir manyetik alana dik olarak girdiğinde parçacıkların manyetik alandaki yörüngeleri şekildeki gibi olmaktadır.

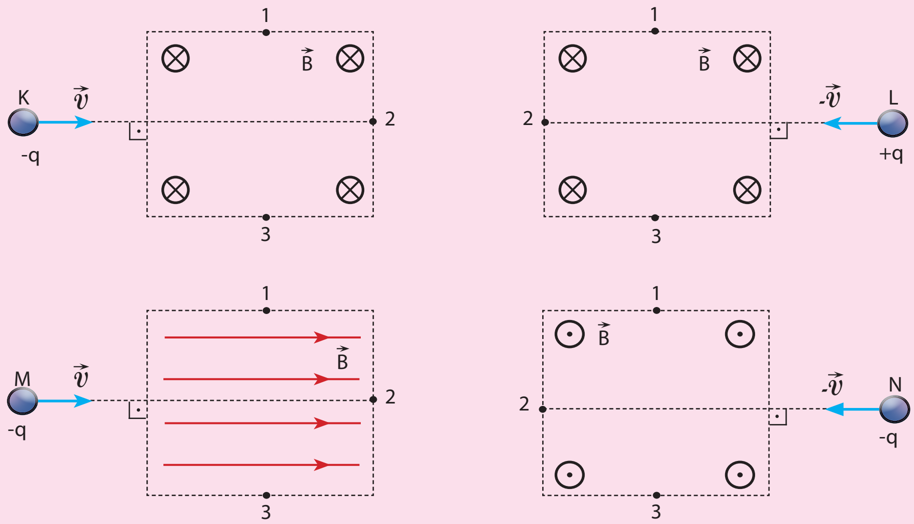


Buna göre parçacıkların yüklerinin işaretleri nedir?

ÇÖZÜM

54. ALIŞTIRMA

Sürtünmenin ihmal edildiği yatay düzlemde yük miktarları ve hız büyüklükleri şekillerdeki gibi olan K, L, M ve N parçacıkları düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına girmektedir.

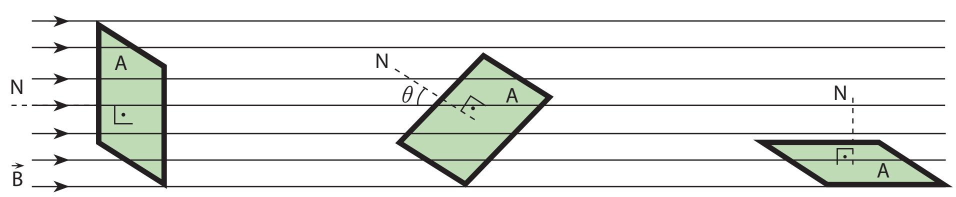


Buna göre parçacıklar manyetik alanı hangi noktalardan geçerek terk edebilir?

ÇÖZÜM

F) MANYETİK AKI

Uzayın belli bir bölgesindeki manyetik alanın büyüklüğü, manyetik alan çizgileriyle gösterilir. Manyetik alanın kuvvetli olduğu bölgelerde çizgiler daha sık, zayıf olduğu bölgelerde ise daha seyrektir. Alan çizgilerinin yoğunluğu manyetik alanın büyüklüğü ile orantılı alınır. **Manyetik akı**, manyetik alan içindeki bir yüzeyin dik kesitinden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısının bir ölçüsüdür. Manyetik akı **Φ** sembolü ile gösterilir ve SI 'da manyetik akının birimi **weber**dir (**Wb**).



$\Phi = B \cdot A$ — **a)** İletken çerçeve manyetik alana dik ise

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$ — **b)** Çerçeve yüzeyinin normali manyetik alanla θ açısı yapmakta ise

$\Phi = 0$ — **c)** İletken çerçeve manyetik alana paralel ise

Şekil 2.60: Manyetik alan içindeki iletken çerçeveden geçen manyetik akı

Çerçeve manyetik alana dik olarak yerleştirildiğinde yüzeyin normali ile manyetik alan arasındaki açı 0° dir (Şekil 2.60.a). Bu durumda yüzeyden geçen çizgi sayısı ve manyetik akı maksimumdur. Çerçeve alan içinde döndürülerek yüzeyin normali ile manyetik alan arasındaki açı θ yapılırsa yüzeyden geçen çizgi sayısı ve manyetik akı azalır (Şekil 2.60.b). Eğer çerçeve manyetik alana paralel konuma getirilirse yüzeyin normali ile manyetik alan arasındaki açı 90° olur. Bu durumda yüzeyden çizgi geçmeyeceği için manyetik akı sıfır olur (Şekil 2.60.c).

Manyetik alan içindeki bir çerçevede manyetik alan şiddetinin artması ile alan çizgileri sıklaşır ve çerçevenin içinden geçen çizgi sayısı artar. Aynı şekilde çerçevenin manyetik alan içindeki yüzey alanı arttırılırsa yüzeyden geçen çizgi sayısı da artar. Her iki durumda da çerçevenin içindeki manyetik akı artar. O hâlde çerçevenin içindeki manyetik akı, manyetik alan şiddeti ve çerçevenin yüzey alanı ile doğru orantılıdır. B büyüklüğündeki manyetik alanda bulunan çerçevenin A büyüklüğündeki yüzeyinden geçen manyetik akının büyüklüğü

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$ olur.

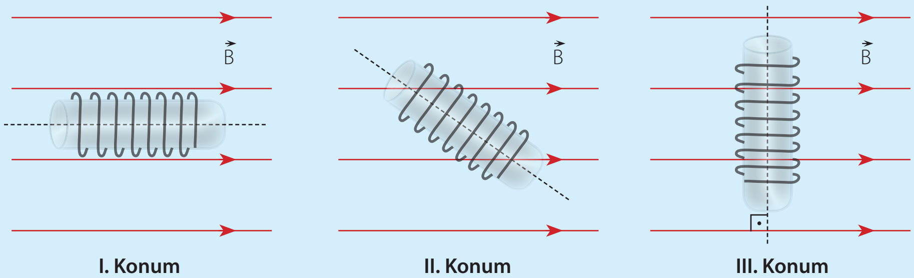
Manyetik akının birimi ise $\text{weber} = (\text{tesla}) \cdot (\text{metre})^2$ şeklindedir.

Manyetik akı değişimi, bir çerçevenin hareket durumuna göre çerçeveden geçen son durumdaki manyetik akı değeri Φ_2 ile ilk durumdaki manyetik akı değeri Φ_1 'in farkıdır. Buna göre manyetik akı değişimi

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ olur.

38. ÖRNEK

Akım makarasının düzgün manyetik alandaki üç farklı konumu verilmiştir.



Buna göre makara hangi konumlarında iken makaradan manyetik akı geçer? (Yerin manyetik alanı önemsizdir.)

ÇÖZÜM

Akım makarasından manyetik akı geçmesi için alan çizgilerinin makaranın halkaları içinden geçmesi gerekir. Buna göre I ve II. konumlarında iken akım makarasından manyetik akı geçer, III. konumda iken geçmez.

39. ÖRNEK

Yüzey alanı 2 m^2 olan bir çerçeve, şiddeti 5 T olan düzgün bir manyetik alanda bulunmaktadır.

Çerçeve manyetik alan çizgileriyle 30° lik açı yaptığına göre çerçeve yüzeyindeki manyetik akı kaç Wb olur? ($\cos 60^\circ = 0,5$ alınız.)

ÇÖZÜM

Çerçevenin manyetik alanla yaptığı açı 30° ise yüzeyin normali ile manyetik alan çizgileri arasındaki açı 60° dir.

$A = 2\,m^2$ ve $B = 5\,T$ ise manyetik akı

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta = B \cdot A \cdot \cos 60^\circ = 5 \cdot 2 \cdot 0,5 = 5\,Wb$ olur.

55. ALIŞTIRMA

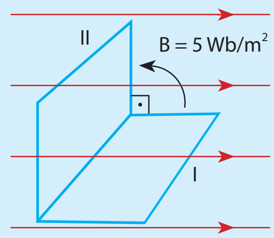
Yüzey alanı 10 m^2 olan bir çerçeve, 10^{-1} Wb/m^2 büyüklüğündeki düzgün bir manyetik alana dik konumdayken çerçeve yüzeyindeki manyetik akı kaç Wb olur?

ÇÖZÜM

40. ÖRNEK

Kenar uzunlukları 20 cm ve 30 cm olan dikdörtgen iletken bir çerçeve, 5 Wb/m^2 lik düzgün manyetik alana paralel olarak yerleştirilmiştir.

Buna göre çerçeve I. konumdan II. konuma getirildiğinde oluşan manyetik akı değişimini bulunuz.



ÇÖZÜM

Çerçevede oluşan manyetik akı $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$ bağıntısıyla bulunur.

Çerçevenin yüzey alanı $A = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06\,m^2$ dir.

İlk durumda çerçevenin normali ile manyetik alan arasındaki açı 90° dir.

Bu durumda çerçevedeki manyetik akı $\Phi_1 = B \cdot A \cdot \cos\theta = 5 \cdot 0,06 \cdot \cos 90^\circ = 0$ olur.

Son durumda çerçevenin normali ile manyetik alan arasındaki açı 0° dir.

Bu durumda çerçevedeki manyetik akı $\Phi_2 = B \cdot A \cdot \cos\theta = 5 \cdot 0,06 \cdot \cos 0^\circ = 0,3\,Wb$ olur.

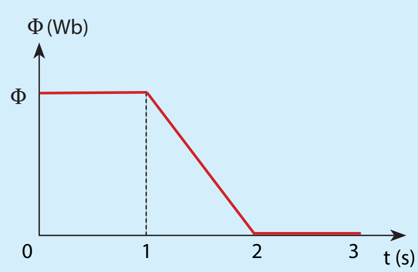
Bu durumda manyetik akı değişimi $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0,3 - 0 = 0,3\,Wb$ olur.

Manyetik akı değişiminin pozitif çıkması çerçeveden geçen akının arttığını gösterir.

41. ÖRNEK

Düzgün manyetik alan içinde bulunan iletken bir çerçevenin içinden geçen manyetik akının zamanla değişim grafiği verilmiştir.

Buna göre hangi zaman aralıklarında çerçevede manyetik akı değişimi olur?

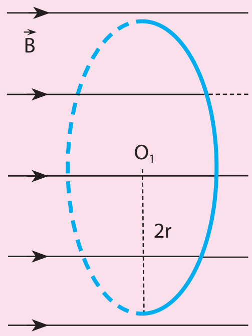


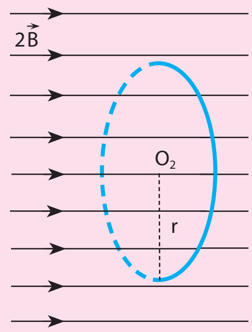
ÇÖZÜM

(0-1) s ve (2-3) s zaman aralıklarında manyetik akı değişimi olmaz. Sadece (1-2) s zaman aralığında manyetik akı değişimi olur.

56. ALIŞTIRMA

Sayfa düzleminde bulunan B ve 2B büyüklüğündeki manyetik alanlara 2r ve r yarıçaplı çember şeklindeki halkalar sayfa düzlemine dik olarak yerleştirilmiştir.





Buna göre r yarıçaplı halkanın yüzeyindeki manyetik akı Φ_1 , 2r yarıçaplı halkanın yüzeyindeki manyetik akı Φ_2 ise $\frac{\Phi_1}{\Phi_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

İndüksiyon Elektromotor Kuvveti

Basit bir elektrik devresinde elektrik akımının oluşabilmesi için iletkenin uçları arasında potansiyel farkının olması gerekir. Bu nedenle devrelerde batarya, pil ve jeneratör gibi enerji kaynakları kullanılır. Elektriksel enerji sağlayan cihazlara elektromotor kuvvet kaynağı denir. İki nokta arasında elektriksel potansiyel farkı oluştuğunda elektromotor kuvvet kaynağı, elektronları düşük potansiyelden yüksek potansiyele doğru hareket ettirmeye zorlar. Birim yükün devreyi bir defa dolanması için gerekli enerji **elektromotor kuvveti** olarak tanımlanır. Elektromotor kuvvet ε sembolü ile gösterilir ve birimi **volt**tur (**V**).

Üreteci olmayan bir elektrik devresinden akım geçebilir mi?

G) İNDÜKSİYON AKIMI

1831 yılında Michael Faraday ve Joseph Henry tarafından gerçekleştirilen deneyler manyetik alanın şiddetini değiştirerek devrede bir elektromotor kuvvetin ve dolayısıyla bir akımın oluşturulabileceğini ortaya koymuştur. Manyetik alanın şiddetini değiştirmek aynı zamanda manyetik akıyı da değiştirdiğinden akı değişimi sağlanarak elektrik akımı oluşturulabilir.

Manyetik akı değişimi sonucunda oluşan akıma örnek olarak Simülasyon 2.3 incelenebilir.

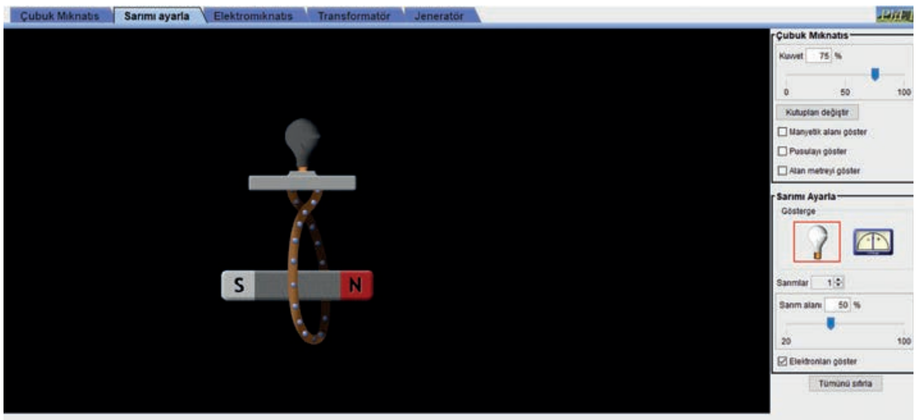
SİMÜLASYON VAR

Simülasyon 2.3: İndüksiyon Akımı

Simülasyonun Amacı

İndüksiyon akımının oluşumunu incelemek

Verilen karekodu okutarak simülasyonu açınız. Karşınıza çıkan ekranın sağında yer alan menüde "gösterge" sekmesinde "lamba" seçeneği seçili olmalıdır. Ekrandaki düzenek; iletken tel bir halka, çubuk mıknatıs ve lambadan oluşmalıdır. Düzenek üzerinde aşağıdaki değişiklikleri yaparak değişimleri gözlemleyiniz.



Simülasyonun Uygulanması

1. Mıknatısı hareket etmeyecek şekilde halkanın içine yerleştiriniz. Lambanın ışık verip vermediğini gözlemleyiniz.
2. Mıknatısı birkaç kez halkaya yaklaştırıp uzaklaştırınız. Lambanın ışık verip vermediğini gözlemleyiniz.
3. Mıknatısı önce yavaşça sonra hızlıca halkaya yaklaştırıp uzaklaştırdığınızda lambanın parlaklığındaki değişimi gözlemleyiniz.

Değerlendirme

1. Mıknatıs hareket etmeyecek şekilde halkanın içindeyken lambadan akım geçti mi?
2. Mıknatıs halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında lambadan akım geçti mi?
3. Mıknatıs önce yavaşça sonra hızlıca halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında lambanın parlaklığındaki değişim nasıl oldu?
4. Simulasyonda elde ettiğiniz bilgileri kullanarak indüksiyon akımının matematiksel modelini elde ediniz.

Simülasyondan görüldüğü üzere mıknatıs halka içinde hareketsiz iken lamba ışık vermez. Mıknatısın alan çizgileri halka içinde manyetik akı oluşturur. Manyetik akı olsa dahi akımın geçmediği görülür. Bu durumda devrede herhangi bir elektromotor kuvvet oluşmadığı söylenebilir.

Mıknatıs halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında halka içindeki manyetik alan çizgi sayısı ve buna bağlı olarak manyetik akı değişir. Bu durumda lambanın ışık verdiği gözlenir. Halka içerisindeki manyetik akı değişimi halka üzerinde elektrik akımı oluşmasını sağlar. Akımın oluşması devrede bir elektromotor kuvvet oluştuğunun göstergesidir. Manyetik akı değişimi ile oluşan elektromotor kuvvete **indüksiyon elektromotor kuvveti,** oluşan akıma da indüksiyon akımı denir.

Mıknatısın halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırılması işlemi ne kadar hızlı yapılırsa lambanın parlaklığı ve voltmetrenin gösterdiği değer mıknatısın hızı nedeniyle değişen manyetik akı değişimiyle doğru orantılı olarak artar. Manyetik akı değişimi ne kadar hızlı ise hem indüksiyon elektromotor kuvveti hem de indüksiyon akımı o kadar büyük olur. O hâlde indüksiyon elektromotor kuvveti ve indüksiyon akımı manyetik akı değişim hızıyla doğru orantılıdır. Halkada Δt sürede, $\Delta\Phi$ büyüklüğünde manyetik akı değişimi varsa halkada oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü

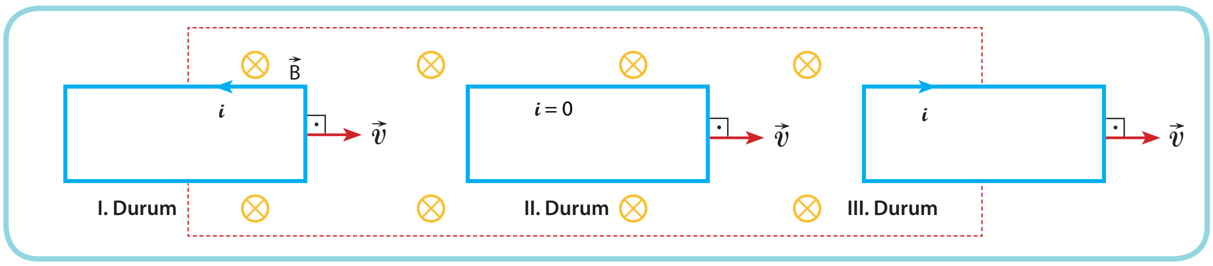
$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$ bağıntısıyla bulunur.

Çok sayıda halkadan oluşan akım makarasında da indüksiyon elektromotor kuvveti oluşabilir. Bu durumda N sarımlı akım makarası için $\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ olur.

Bağıntılarda yer alan (-) işareti oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetinin kendisini oluşturan etkiye karşı koyacak yönde olduğunu gösterir. İndüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü hesaplanırken (-) işaretinin kullanılmasına gerek yoktur. İndüksiyon akımının büyüklüğü bulunurken Ohm Yasası kullanılır.

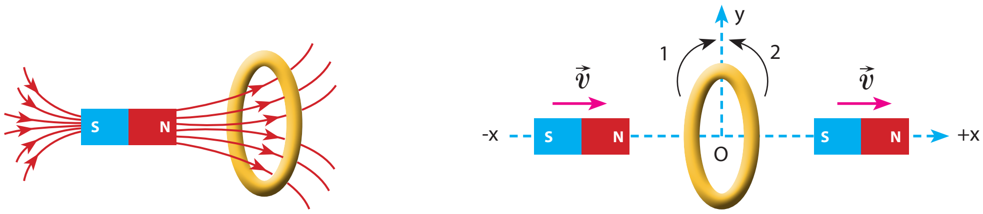
Ohm Yasası'na göre $\varepsilon_{ind} = i_{ind} \cdot R \Longrightarrow i_{ind} = \frac{\varepsilon_{ind}}{R}$ olur.

Değişen manyetik akı sonucunda oluşan indüksiyon akımının yönü Lenz Yasası ile belirlenir. İndüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, indüksiyon akımını meydana getiren manyetik akı değişimine karşı koyacak yönde oluşur. Manyetik akı artarsa indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, manyetik akıyı azaltacak yönde oluşur. Manyetik akı azalırsa indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alan, manyetik akıyı arttıracak yönde oluşur.



Şekil 2.61: Düzgün manyetik alanda $\vec{v}$ hızıyla hareket ettirilen çerçeve

Dikdörtgen şeklindeki iletken tel çerçeve sabit $\vec{v}$ hızıyla hareket ederek yönü sayfa düzleminden içeri doğru, $\vec{B}$ manyetik alandan geçmektedir (Şekil 2.61). Çerçeve manyetik alana tamamen girene kadar çerçeveden geçen manyetik akı zamanla artar. Bu durumda çerçeve üzerinde, artan manyetik akının azalmasını sağlayacak şekilde indüksiyon akımı oluşur. Bunun için sayfa düzleminden içeriye doğru olan $\vec{B}$ manyetik alanına karşı sayfa düzleminden dışarıya doğru bir manyetik alan oluşur. Sağ el kuralına göre zıt yönde bir manyetik alan oluşması için çerçeve üzerinden geçen akımın yönü I. durumdaki gibi olmalıdır. II. durumdaki gibi çerçevenin tamamı manyetik alan içinde hareketli iken çerçevedeki manyetik akı değişmez. Manyetik akı değişimi olmadığı için çerçeve üzerinde indüksiyon akımı oluşmaz. Çerçeveden geçen manyetik akı, çerçeve manyetik alandan çıkmaya başladığı andan itibaren azalmaya başlar ve bu azalma çerçeve manyetik alanı tamamen terk edene kadar devam eder. Bu durumda çerçeve üzerinde, azalan manyetik akının artmasını sağlayacak şekilde indüksiyon akımı ve $\vec{B}$ manyetik alanıyla aynı yönde bir manyetik alan oluşur. Sağ el kuralına göre sayfa düzleminden içeriye doğru bir manyetik alan oluşması için çerçeve üzerinden geçen akımın yönü III. durumdaki gibi olmalıdır.



a) Mıknatıs iletken halkanın yakınında dururken

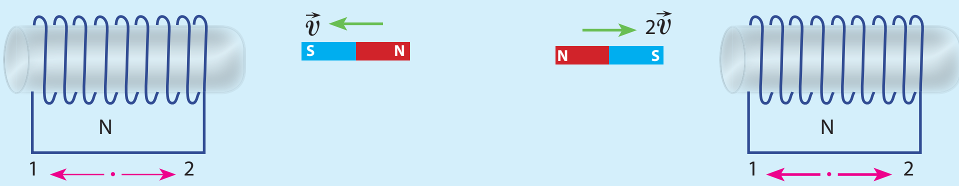
b) Mıknatıs iletken halkanın içinden geçerken

Şekil 2.62: Bir mıknatısın iletken halka üzerinde indüksiyon akımı oluşturması

Sayfa düzlemindeki çubuk mıknatısın önüne, sayfa düzlemine dik bir halka yerleştirildiğinde halka içerisinden manyetik akı geçer. Ancak manyetik akı değişimi olmadığı için halka üzerinde bir indüksiyon akımı oluşmaz (Şekil 2.62.a). Çubuk mıknatıs +x yönünde $\vec{v}$ hızıyla halka içerisinden geçerek uzaklaştırıldığında halka yüzeyinde manyetik akı değişimi olur. Mıknatıs, halkaya yaklaşırken manyetik akı artar. Halka üzerinde manyetik akıyı azaltacak şekilde indüksiyon akımı oluşur. Başlangıçta mıknatısın halkanın merkezinde oluşturduğu manyetik alan +x yönündedir. İndüksiyon akımını oluşturacak manyetik alan ise -x yönünde olmalıdır. Sağ el kuralı uygulandığında indüksiyon akımının 2 yönünde oluştuğu bulunur. Mıknatıs halkadan uzaklaşırken halkadan geçen manyetik akı azalır. Böylece indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur (Şekil 2.62.b).

42. ÖRNEK

Sarım sayısı N olan akım makarasına çubuk mıknatıs Şekil I'deki gibi $\vec{v}$ hızıyla yaklaştırılmaktadır. Bu durumda akım makarası üzerinde oluşan indüksiyon akımı i_1'dir. Aynı çubuk mıknatıs akım makarasına aynı mesafeden Şekil II'deki gibi $2\vec{v}$ hızıyla yaklaştırıldığında oluşan indüksiyon akımı ise i_2'dir.



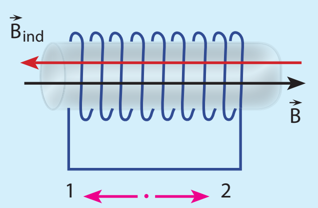
Şekil I

Şekil II

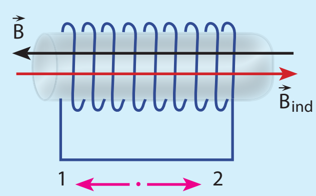
Buna göre i_1 ve i_2 akımlarının yönünü bularak büyüklüklerini karşılaştırınız.

ÇÖZÜM

Şekil I'deki durumda çubuk mıknatıs makaraya yaklaşırken makaranın merkez eksenindeki manyetik akı artar. İndüksiyon akımı makara üzerinde akıyı azaltacak yönde oluşur. Başlangıçta mıknatısın makaranın merkez ekseninde oluşturduğu $\vec{B}$ manyetik alanı 2 yönündedir. İndüksiyon akımının oluşturacağı $\vec{B}_{ind}$ alanı 1 yönünde olmalıdır. Sağ el kuralı uygulandığında i_1 akımının 2 yönünde oluştuğu bulunur.



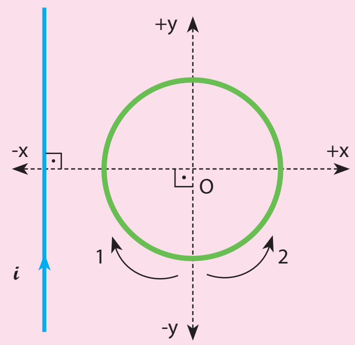
Şekil II'deki çubuk mıknatıs makaraya yaklaşırken makaranın merkez eksenindeki manyetik akı artar. İndüksiyon akımı makara üzerinde akıyı azaltacak yönde oluşur. Başlangıçta mıknatısın makaranın merkez ekseninde oluşturduğu $\vec{B}$ manyetik alanı 1 yönündedir. İndüksiyon akımının oluşturacağı $\vec{B}_{ind}$ alanı 2 yönünde olmalıdır. Sağ el kuralı uygulandığında i_2 akımının 1 yönünde oluştuğu bulunur. İkinci durumdaki akının değişim hızı ilk durumdakinden daha büyük olduğu için i_2 akımı i_1 akımından büyüktür.



57. ALIŞTIRMA

İletken düz bir telden i akımı geçmektedir. Telin yanına r yarıçaplı halka, şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Düzenek üzerinde yapılan bazı değişiklikler tabloda verilmiştir.

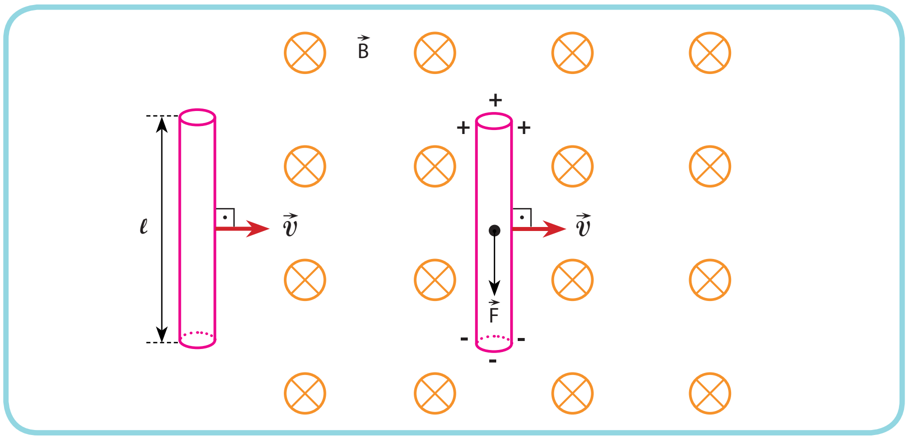
Bu değişikliklerin ayrı ayrı yapılması durumunda halka yüzeyindeki manyetik akı, halkada oluşan indüksiyon akımı ve indüksiyon akımının yönünün nasıl değiştiğini tabloda ayrılan yerlere yazınız.



ÇÖZÜM

Yapılan Değişiklik	Manyetik Akı (Artar/Azalır/Değişmez)	İndüksiyon Akımı (Oluşur/Oluşmaz)	İndüksiyon Akımı Yönü (1/2/Oluşmaz)
Halkayı +y yönünde hareket ettirmek			
Halkayı +x yönünde hareket ettirmek			
İletken telden geçen akım şiddetini artırmak			

Halka şeklindeki yüzeylerden geçen akının değişimi ile indüksiyon elektromotor kuvveti oluşabilmektedir. Düzgün manyetik alanda bulunan iletken telin hareket ettirilmesi ile de indüksiyon elektromotor kuvvetinin oluşması sağlanabilir.

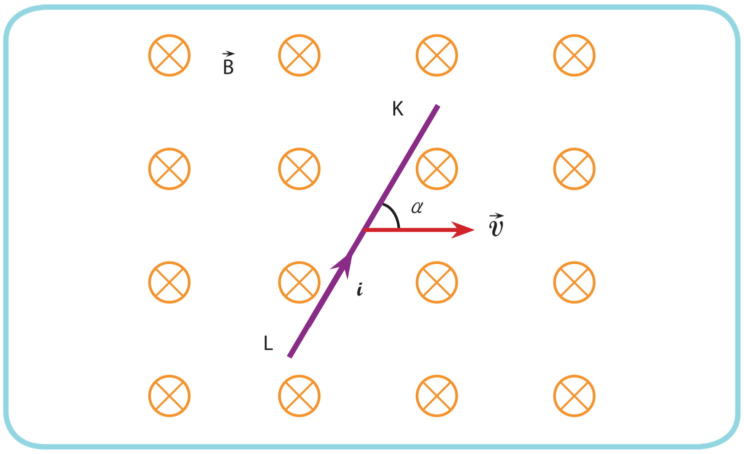


Şekil 2.63: Düzgün manyetik alana dik giren iletken telde indüksiyon elektromotor kuvvetin oluşumu

Şekil 2.63'teki gibi sayfa düzleminde bulunan ℓ uzunluğundaki iletken tel, sayfa düzleminden içeri doğru olan düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına girmektedir. İletken tel ve hız vektörü birbirine dik olacak şekilde iletken tel $\vec{v}$ hızıyla çekildiğinde içindeki serbest elektronlara alan içinde manyetik bir kuvvet etki eder. Sağ el kuralı uygulandığında elektronlara etkiyen manyetik kuvvetin yönünün aşağı doğru olduğu bulunur. Kuvvetin etkisiyle elektronlar iletkenin alt ucunda birikir ve iletkenin üst ucunda pozitif yük fazlalığı oluşur. Böylelikle iletkenin uçları arasında indüksiyon elektromotor kuvvet oluşur.

Hareketli yüklere etki eden manyetik kuvvet, manyetik alan şiddeti ve iletken telin hızı arttıkça artar. İletken telin manyetik alandaki hızının artması ile telde bulunan yüklere daha büyük bir kuvvet etki eder. Bu durumda daha fazla yük hareketi gözleneceği için oluşan indüksiyon elektromotor kuvvet de artar. Aynı zamanda telin manyetik alan içindeki uzunluğu artarsa manyetik kuvvetten etkilenen yük miktarı da artacaktır. Bu durumda daha fazla yük hareketi oluşacağı için oluşan indüksiyon elektromotor kuvvet de artar.

Manyetik alan içinde manyetik alana ve hız vektörüne dik olarak hareket ettirilen ℓ uzunluğundaki telin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetini veren bağıntı $\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell$ olur.



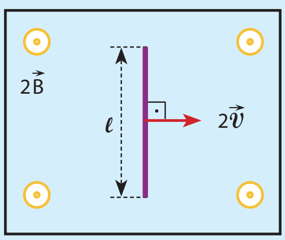
Şekil 2.64: Düzgün manyetik alanda $\vec{v}$ hızıyla hareket eden iletken telde indüksiyon elektromotor kuvvetin oluşumu

Eğer iletken tel ve hız vektörü birbirine dik değilse hızın tele dik bileşeni kullanılır (Şekil 2.64). Bu durumda indüksiyon elektromotor kuvvetini veren bağıntı

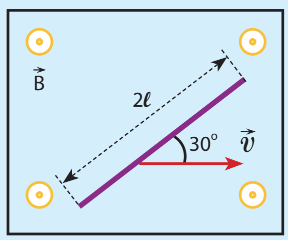
$$\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell \cdot \sin\alpha$$ olur.

43. ÖRNEK

Uzunluğu ℓ olan iletken tel Şekil I' deki gibi $2\vec{B}$ manyetik alanında $2\vec{v}$ hızıyla hareket ederken telde oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti ε_1 olmaktadır. Uzunluğu 2ℓ olan iletken tel Şekil II' deki gibi $\vec{B}$ manyetik alanında $\vec{v}$ hızıyla hareket ederken telde oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti ε_2 olmaktadır.



Şekil I



Şekil II

Buna göre $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ oranı kaçtır? ($\sin 30° = 0,5$ alınız.)

ÇÖZÜM

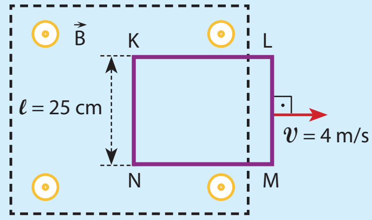
Şekil I'deki durumda $\varepsilon_1 = B_1 \cdot v_1 \cdot \ell_1 = 2B \cdot 2v \cdot \ell = 4B \cdot v \cdot \ell$ olur

Şekil II'deki durumda $\varepsilon_2 = B_2 \cdot v_2 \cdot \ell_2 \cdot \sin 30° = B \cdot v \cdot 2\ell \cdot 0,5 = B \cdot v \cdot \ell$ olur.

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{4B \cdot v \cdot \ell}{B \cdot v \cdot \ell} = 4 \text{ olur.}$$

44. ÖRNEK

Sayfa düzlemine dik ve yönü sayfa düzleminden dışarı doğru olan 10 T büyüklüğünde düzgün manyetik alana sayfa düzleminde iletken KLMN çerçevesi yerleştirilmiştir.



Direnci 5 ohm olan çerçeve manyetik alana dik olarak 4 m/s sabit hızla çekildiğine göre

a) Çerçevede oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti kaç V olur?

b) Çerçevede oluşan indüksiyon akımı hangi yöndedir ve büyüklüğü kaç A olur?

ÇÖZÜM

a) $\ell = 25$ cm $= 0,25$ m olur. Buna göre indüksiyon elektromotor kuvveti

$\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell = 10 \cdot 4 \cdot 0,25 = 10$ V olur.

b) İndüksiyon akımının yönü sağ el kuralına göre K'den N noktasına doğru bulunur. Büyüklüğü

$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{10}{5} = 2$ A olur.

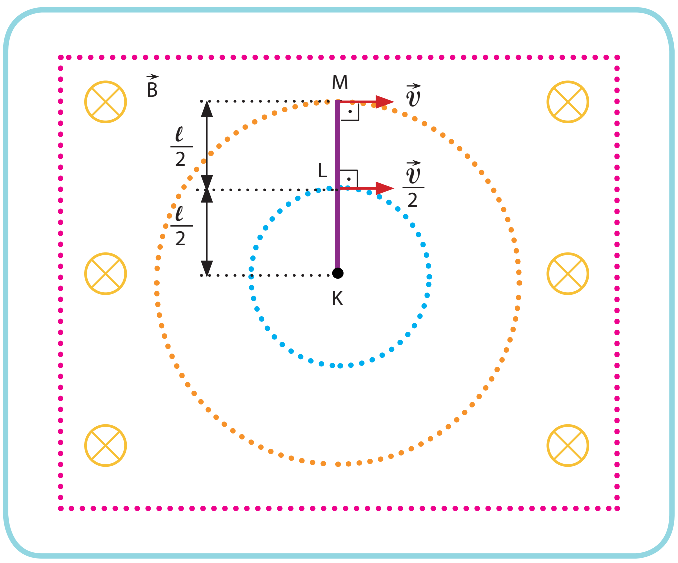
58. ALIŞTIRMA

Uzunluğu 60 cm olan iletken tel, 5 T büyüklüğündeki düzgün manyetik alanda, manyetik alana ve tele dik 1 m/s hızla hareket etmektedir.

Buna göre telin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti kaç volttur?

ÇÖZÜM



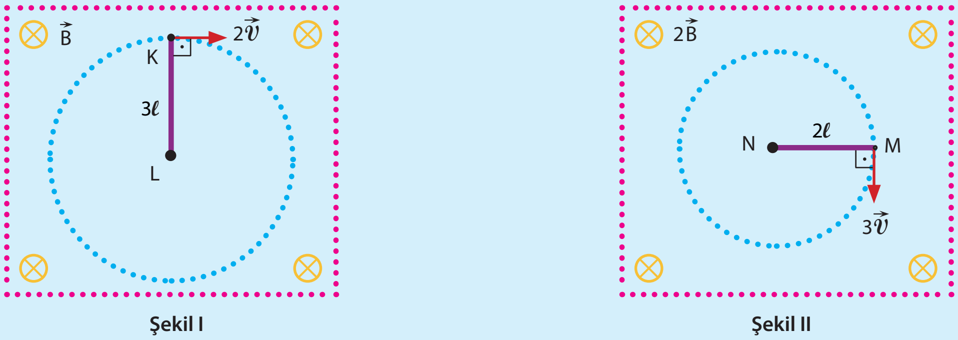


Şekil 2.65: Düzgün manyetik alanda dönen iletken tel

Uzunluğu ℓ olan iletken tel, büyüklüğü B olan manyetik alan içerisindeki K noktası etrafında dönerken iletkenin uçları arasında indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Tel üzerindeki tüm noktaların çizgisel hızının büyüklüğü farklıdır. İletkenin M ucunun hızının büyüklüğü v iken L noktasının hızının büyüklüğü $\frac{v}{2}$ ve K ucununki sıfırdır (Şekil 2.65). Hızın büyüklüğü çubuğun her noktasında farklı olduğu için ortalama hız değeri kullanılır. İletken telin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü $\varepsilon = B\frac{v}{2} \cdot \ell$ olur.

45. ÖRNEK

Uzunluğu 3ℓ olan KL iletken teli Şekil I'deki gibi düzgün $\vec{B}$ manyetik alanında L noktası etrafında, uzunluğu 2ℓ olan MN iletken teli Şekil II'deki gibi düzgün $2\vec{B}$ manyetik alanında N noktası etrafında dönmektedir. KL telinin K ucunun hızının büyüklüğü $2\mathcal{V}$, MN telinin M ucunun hızının büyüklüğü $3\mathcal{V}$'dir.



Buna göre KL telinin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti 4 V ise MN telinin uçları arasında oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti kaç volttur?

ÇÖZÜM

KL telinde oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti

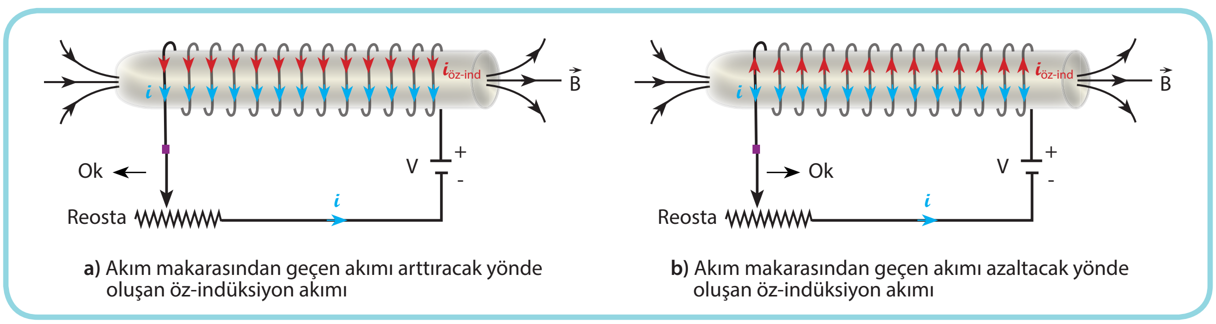
$\varepsilon_{KL} = B\dfrac{2\mathcal{V}}{2}\cdot 3\ell = 3B\cdot\mathcal{V}\cdot\ell = 4\text{ V}$ ise

MN telinde oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti

$\varepsilon_{MN} = 2B\dfrac{3\mathcal{V}}{2}\cdot 2\ell = 6B\cdot\mathcal{V}\cdot\ell = 2\cdot\varepsilon_{KL} = 2\cdot 4 = 8\text{ V}$ olur.

Ğ) ÖZ-İNDÜKSİYON AKIMI

Bir akım makarasından akım geçirildiğinde makaranın merkez ekseninde sabit bir manyetik alan oluşur. Devreden geçen akımın değiştirilmesi ile manyetik alanın şiddeti de değişir ve akım makarasının içinde manyetik akı değişimi gerçekleşir. Devredeki akım değişiminin neden olduğu bu akıma **öz-indüksiyon akımı** denir.



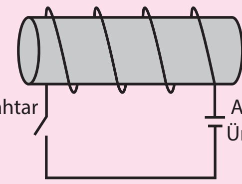
Şekil 2.66: Akım makarasından geçen akımın değiştirilmesi ile öz-indüksiyon akımının oluşumu

Akım makarası, üreteç ve reosta ile kurulan devreden i akımı geçerken makaranın içinde $\vec{B}$ manyetik alanı oluşur. Reostanın sürgüsü Şekil 2.66.a'daki gibi ok yönünde çekildiğinde devrenin direnci artar ve devreden geçen i akımının şiddeti azalır. Akımın azalması manyetik alanın şiddetini de azaltır. Lenz Yasası'na göre azalan manyetik alanı arttıracak yönde ikinci bir manyetik alan oluşmalıdır. Bu şekilde akım değişiminden dolayı meydana gelen manyetik akı değişimi devrede öz-indüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Sağ el kuralına göre $\vec{B}$ ile aynı yönde manyetik alan oluşması için öz-indüksiyon akımı devredeki i akımını arttıracak yönde olmalıdır. Reostanın sürgüsü Şekil 2.66.b'deki gibi ok yönünde çekildiğinde devrenin direnci azalır ve devreden geçen

i akımının şiddeti artar. Akımın artması manyetik alanının şiddetini de arttırır. Lenz Yasası'na göre artan manyetik alanı azaltacak yönde ikinci bir manyetik alan oluşmalıdır. Bu şekilde akım değişiminden dolayı meydana gelen manyetik akı değişimi devrede *i* akımını azaltacak yönde öz-indüksiyon akımının oluşmasına neden olur. Öz-indiksiyon akımı bir devrede akım değişimi gerçekleştiği sürece oluşur.

59. ALIŞTIRMA

Akım makarası, anahtar ve gerilimi ayarlanabilir üreteç ile şekildeki devre kurularak devre üzerinde sırasıyla aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır.



Buna göre

I. Üretecin gerilimi belli bir değere ayarlandıktan sonra anahtar kapatılmıştır.
II. Üretecin gerilimi zamanla arttırılmıştır.
III. Anahtar açılarak devre akımı kesilmiştir.

hangi işlemlerin yapılması sırasında akım makarasının üzerinde öz-indüksiyon akımı oluşmuştur? Nedenini açıklayınız.

ÇÖZÜM

H) YÜKLÜ PARÇACIKLARIN MANYETİK ALAN VE ELEKTRİK ALANDAKİ HAREKETİ

Elektrik ve manyetizma birbiri ile bağlantılı iki olgudur. Elektrik yükleri durgunken çevrelerinde elektrik alanlar meydana getirir. Bu yükler hareketlendiğinde ise çevrelerinde elektrik alanlarla birlikte manyetik alanlar da oluşturur.

Yüklü parçacıklara etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü elektrik alan şiddeti ve parçacıkların yük miktarına bağlı olarak değişir. Elektriksel kuvvetin büyüklüğü ise $F = q \cdot E$ olur. Yüklü parçacıklara etkiyen bu elektriksel kuvvet, cisimlerin hızının ve kinetik enerjilerinin değişmesine neden olur.

Yüklü parçacıkların hareket ettiği manyetik alanla birlikte aynı ortamda elektrik alan da bulunabilir. Bu durumda yüklü parçacığa hem manyetik kuvvet hem de elektriksel kuvvet etki eder.

Yapılan deneyler yüklerin elektrik ve manyetik alanlara birbirinden bağımsız olarak tepki verdiğini göstermiştir. Buna göre bir manyetik alanla birlikte ortamda elektrik alan bulunduğunda yüklü parçacığa etki eden net kuvvet elektriksel ve manyetik kuvvetin bileşkesi alınarak

$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B})$ bağıntısıyla bulunur.

Bu bağıntı klasik fiziğin birçok alanındaki gelişmelere katkı sağlayan Hendrik Lorentz' in (Hendirik Lorents) anısına **Lorentz kuvveti** olarak anılır.

Lorentz kuvvetinin etkisiyle yüklü parçacıkların yörüngelerinin ve hızlarının değiştirilebilmesi birçok teknolojik gelişmeye zemin hazırlamıştır.

İletken çubukların ve tellerin manyetik alan içinde hareketiyle veya değişen bir manyetik alan etkisiyle indüksiyon elektromotor kuvvetleri oluşur. Benzer şekilde değişen manyetik alan içindeki geniş metal şerit ve levhaların yüzeyinde de indüksiyon akımları oluşur. Bunlara **girdap akımları** denir. İletkenin içerisinde sürekli dönen akım, kendi hareketlerine dik olarak Lorentz kuvvetine maruz kalan elektronlardan kaynaklanmaktadır. Girdap akımı, suda kürek çekerken oluşan küçük girdaplara benzetilebilir.



Görsel 2.8: İndüksiyon ocağı

Girdap akımları bir iletken üzerinde dolanırken iletkenin sıcaklığını arttırır. Bu özellik indüksiyon ocakları ve indüksiyon fırınlarında kullanılır (Görsel 2.8). İndüksiyon ocağı el yakmaz, indüksiyon ocaklarına uygun tencere tabanında oluşturduğu girdap akımları ile tencerenin sıcaklığını arttırır.



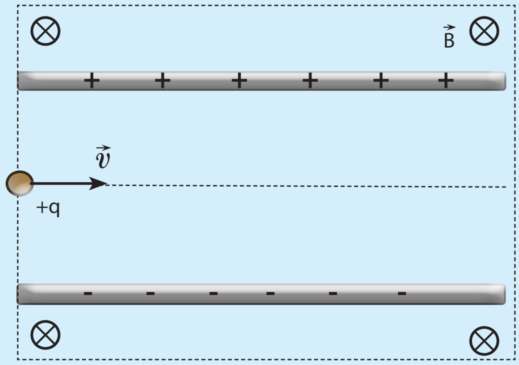
Görsel 2.9: Hadron çarpıştırıcı

Dünyanın en büyük parçacık çarpıştırıcısı, Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nde (CERN) yer almaktadır. İsviçre-Fransa sınırında, yerin 100 m altında kurulan ve yaklaşık 27 km uzunluğunda olan Büyük Hadron Çarpıştırıcı (LHC), içinde süper iletken mıknatıslar bulunan halka şeklindeki tünellerden oluşur. Parçacıklar LHC'ye Süper Proton Senkrotronu (SPS) denilen bir ön hızlandırıcıdan yollanır. Elektrik alan yardımıyla hızlandırılan parçacıklar, süper iletken mıknatıslar sayesinde tünel içinde tutulur. Zıt yönlerden gelen ve ışık hızına yakın hızlarda hareket eden iki parçacık demetinin çarpışması sonucunda yeni parçacıklar ortaya çıkar ve bu parçacıklar dedektörlerle incelenir (Görsel 2.9).

Lorentz kuvvetinin diğer uygulamalarına metal dedektörleri, metro trenlerinde kullanılan frenleme sistemleri, metal parayla çalışan otomatlar, malzemelerdeki kusurları tespit eden cihazlar ve parçacık hızlandırıcılar örnek olarak verilebilir.

46. ÖRNEK

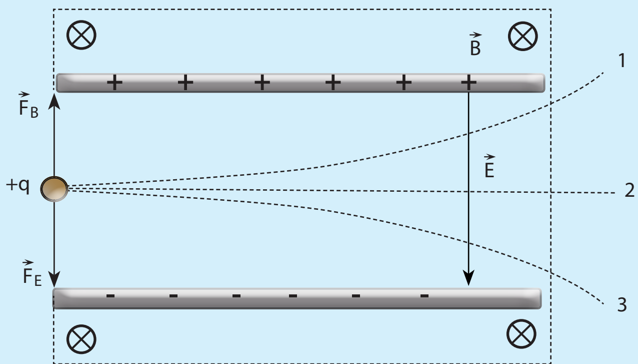
Sayfa düzleminden içeri doğru olan düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına sayfa düzleminde bulunan yüklü paralel levhalar yerleştirilerek şekildeki düzenek hazırlanmıştır. +q yüklü parçacık yer çekiminin ve sürtünmelerin ihmal edildiği bu ortama levhalara paralel doğrultuda $\vec{v}$ hızıyla fırlatılmıştır.



Buna göre yüklü parçacığın paralel levhalar arasındaki hareket yörüngesi için ne söylenebilir?

ÇÖZÜM

Yüklü levhalar arasında (+) yüklü levhadan (–) yüklü levhaya doğru bir $\vec{E}$ elektrik alan oluşur. +q yüklü parçacık paralel levhalar arasına girdiğinde hem $\vec{B}$ manyetik alanına hem de $\vec{E}$ elektrik alana girmiştir. Bu durumda parçacığa hem manyetik kuvvet hem de elektriksel kuvvet etki eder. Elektriksel kuvvet elektrik alanla aynı yöndedir. Sağ el kuralına göre manyetik kuvvet + yüklü levhaya doğrudur. Elektriksel kuvvet $\vec{F}_E$ ve manyetik kuvvet $\vec{F}_B$ ise parçacığın kuvvet diyagramı şekildeki gibi olur. Bu durumda parçacığın hareket yörüngesini, elektrik ve manyetik alan kuvvetlerinin büyüklüğü belirler.



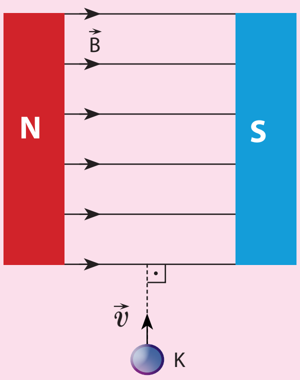
$F_B > F_E$ ise parçacık net kuvvetin etkisiyle 1 numaralı yörüngeyi izleyebilir.

$F_E = F_B$ ise parçacığa etki eden net kuvvet sıfır olur. Parçacık sapmaya uğramaz, 2 numaralı yörüngeyi izler.

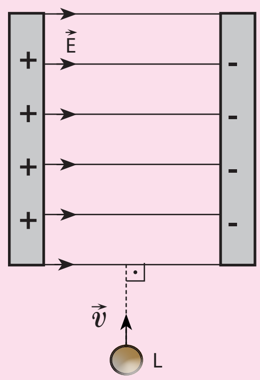
$F_E > F_B$ ise parçacık net kuvvetin etkisiyle 3 numaralı yörüngeyi izleyebilir.

60. ALIŞTIRMA

Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde Şekil I'deki K protonu mıknatıslar arasına, Şekil II'deki L elektronu da yüklü iletken levhalar arasına sabit $\vec{v}$ hızıyla girmektedir.



Şekil I



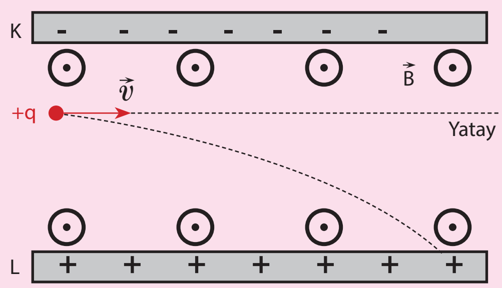
Şekil II

Buna göre proton mıknatıslar, elektron da iletken levhalar arasındayken kinetik enerjilerindeki değişim için ne söylenebilir? (Yerin manyetik alanı önemsizdir.)

ÇÖZÜM

61. ALIŞTIRMA

Yükü +q olan parçacık, iletken yüklü K ve L paralel levhalarının oluşturduğu $\vec{E}$ elektrik alan ile sayfa düzleminden dışarıya doğru $\vec{B}$ manyetik alanına $\vec{v}$ büyüklüğünde hızla yatay olarak girmektedir. Parçacığın levhalar arasında izlediği yörünge şekildeki gibidir.



Parçacığın ağırlığı ve sürtünmeler ihmal edildiğine göre

a) **Parçacığa etki eden elektriksel kuvvetin ve manyetik kuvvetin yönünü bulunuz.**

b) **Parçacığa etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü ile manyetik kuvvetin büyüklüğünü karşılaştırınız.**

ÇÖZÜM

I) ELEKTROMOTOR KUVVETİ

Üreteçler, bir devrede akımı oluşturan kaynaklardır. Bir iletken, üretece bağlanmaz ise iletkenin iki ucu arasında potansiyel farkı oluşmaz ve üzerinden akım geçmez. Bir üretecin akım taşıyıcılarının devrede akım dolaştırmak için harcadığı enerji, o üretecin elektromotor kuvveti olarak bilinir.

Elektromotor kuvvetini oluşturan sebepler Simülasyon 2.4 ile incelenebilir.

SİMÜLASYON VAR

Simülasyon 2.4: Elektromotor Kuvvetini Oluşturan Sebepler

Simülasyonun Amacı

Elektromotor kuvvetin oluşumunu incelemek



Verilen karekodu okutarak simülasyonu açınız. Sayfanın üst kısmındaki "Jeneratör" sekmesini seçiniz. Karşınıza çıkan ekranın sağında yer alan menüde "gösterge" sekmesinde, lamba resminin yanında yer alan "voltaj" seçeneği seçili olmalıdır. Ekrandaki düzenek; musluk, merkezi etrafında dönebilen çubuk mıknatıs, iletken iki halka ve voltmetreden oluşmalıdır (Görsel 2.81).

Simülasyonun Uygulanması

1. Musluğun baş kısmında suyun akış hızının ayarlandığı düğmeyi sağa çekerek su akışını sağlayınız.
2. Suyun akış hızını değiştirerek voltmetredeki sapma miktarını gözlemleyiniz.

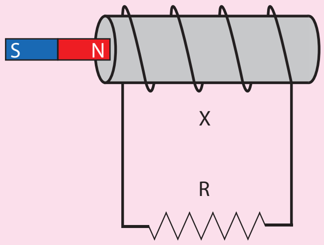
Değerlendirme

1. Musluk kapalıyken sapmayan voltmetre ibresinin musluk açılınca sapmasının nedeni nedir?
2. Musluktan akan suyun hızının artmasıyla voltmetrenin ibresinin sapma miktarında nasıl bir değişim gerçekleşmiştir?

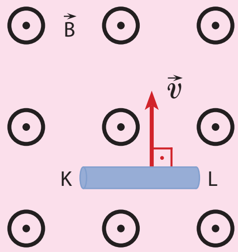
Çubuk mıknatıs, halkaların yanındayken halkaların içinde sabit bir manyetik akıya neden olur. Musluk açılıp su akışı sağlandığında mıknatıs dönmeye başlar. Bu durumda halkaların içindeki manyetik akı zamanla değişir. Bu manyetik akı değişimi halkaların üzerinde elektromotor kuvvet oluşmasına neden olur. Bu olayda suyun potansiyel enerjisinin bir kısmı mıknatısta kinetik enerjiye dönüşür. Mıknatısın dönmesiyle oluşan manyetik akı değişimi ile elektrik enerjisi elde edilir. Bu örnekte meydana gelen enerji dönüşümü ile hidroelektrik santrallerde meydana gelen enerji dönüşümü benzerlik gösterir. Hidroelektrik santrallerde suyun potansiyel enerjisi türbinlerde kinetik enerjiye dönüşür. Türbindeki manyetik akı değişimi dış devrede elektrik alan oluşturur. Böylece hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüşür.

62. ALIŞTIRMA

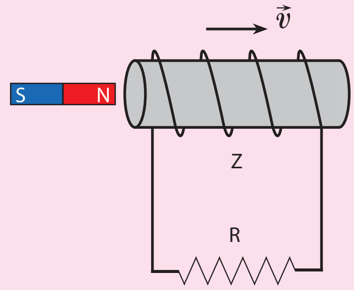
Şekil I'de çubuk mıknatıs X bobininin yanında hareketsiz durmaktadır. Şekil II'de iletken düz KL teli $\vec{B}$ manyetik alanında υ büyüklüğünde hızla hareket etmektedir. Şekil III'te ise Z bobini, hareketsiz olan çubuk mıknatıstan υ büyüklüğünde hızla uzaklaşmaktadır.



Şekil I



Şekil II



Şekil III

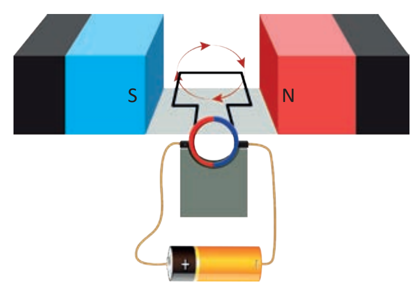
Buna göre hangi şekildeki telde indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur?

ÇÖZÜM

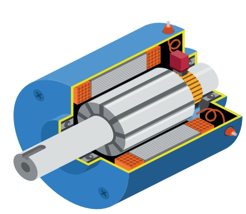
Elektrik motoru, elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştürür. Dinamo ise hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Elektrik motoru ve dinamonun çalışma ilkelerini karşılaştırınız.

Elektrik Motoru ve Dinamo

Elektrik motorları elektromanyetizmanın temel ilkelerine göre çalışır. Basit bir elektrik motoru, üzerinden akım geçen bir çerçevenin dönebilecek şekilde manyetik alan içerisine yerleştirilmesiyle oluşturulur (Şekil 2.67). Manyetik alan içinde akım geçen iletken çerçeveye bir kuvvet etki eder. Bu kuvvet, çerçevenin bir tarafında yukarı doğru etki ederken diğer tarafında aşağı doğru etki eder. İletken çerçeve, manyetik kuvvetin etkisiyle dönmeye başlar.



Şekil 2.67: Basit bir elektrik motorunun yapılışı



Şekil 2.68: Dinamo

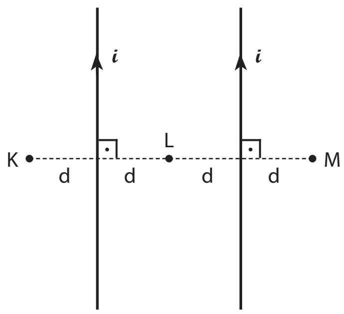
Dinamolar hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmış düzeneklerdir (Şekil 2.68). Manyetik alan içerisine yerleştirilen iletken çerçeve, alan içerisinde döndürüldüğünde çerçevenin içinde manyetik akı değişimi gerçekleşir. Değişen manyetik akı çerçeve üzerinde indüksiyon akımı oluşmasına neden olur. Bu şekilde mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür. Hidroelektrik santralleri, termik santraller, nükleer enerji santralleri ve rüzgâr enerjisi santrallerinde hareket enerjisi aynı prensiple elektrik enerjisine dönüştürülür. Bisikletlerde de uç kısmındaki çarkı tekerleğe temas eden dinamo kullanılır (Görsel 2.10). Tekerlek tarafından döndürülen dinamo, bisiklet lambasına enerji verir.



Görsel 2.10: Bisiklet dinamosu

4. BÖLÜM SONU SORULARI

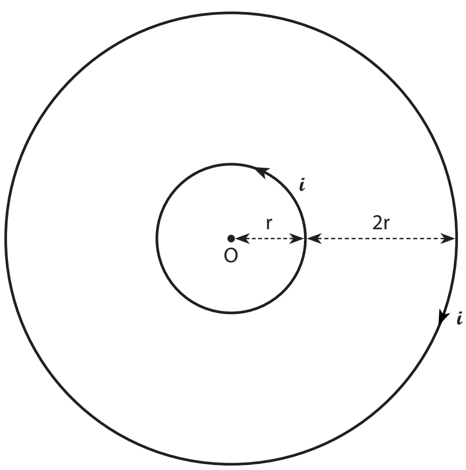
1. Sayfa düzleminde bulunan paralel tellerde aynı yönlü i şiddetinde akımlar geçmektedir.



Buna göre tellerden bir tanesinden geçen akımın yönü değiştirilirse K, L ve M noktalarındaki bileşke manyetik alanın büyüklüğü nasıl değişir? (Yerin manyetik alanını ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

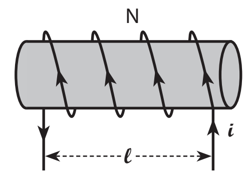
2. Sayfa düzleminde bulunan O merkezli r ve 3r yarıçaplı çembersel tellerden birbirine zıt yönlü i şiddetinde akımlar geçmektedir. r yarıçaplı telin O noktasında oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.



Buna göre tellerin O noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan kaç $\vec{B}$ olur?

ÇÖZÜM

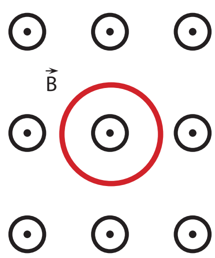
3. Sarım uzunluğu ℓ, sarım sayısı N olan akım makarasının üzerinden i şiddetinde akım geçmektedir. Bu durumda makaranın merkez ekseninde oluşan manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.



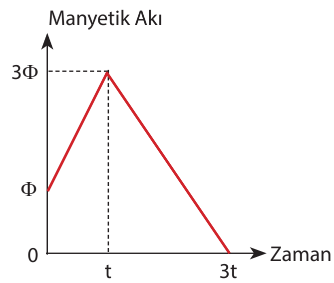
Buna göre sarım uzunluğu aynı kalmak şartıyla sarım sayısı 2 katına çıkarılıp i akımının yönü değiştirildiğinde makaranın merkez ekseninde oluşan manyetik alan kaç $\vec{B}$ olur?

ÇÖZÜM

4. İletken halka şeklindeki tel Şekil I'deki gibi sayfa düzlemine dik ve dışarı doğru olan değişken $\vec{B}$ manyetik alanında bulunmaktadır. Halka içinden geçen manyetik akının zamanla değişimini veren grafik Şekil II'deki gibidir.



Şekil I

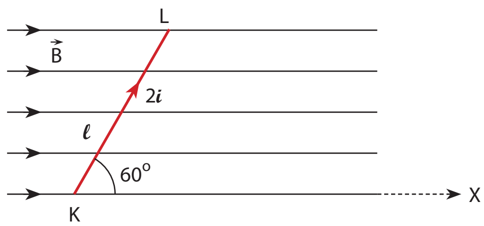


Şekil II

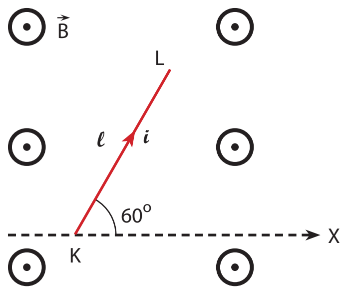
Buna göre tel halkada oluşan indüksiyon akımının büyüklüğü 0-t zaman aralığında i_1 ve t-3t zaman aralığında i_2 olduğuna göre $\frac{i_1}{i_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

5. Uzunluğu ℓ olan iletken düz KL teli Şekil I'deki gibi düzgün B büyüklüğündeki manyetik alanda iken üzerinden 2*i* şiddetinde akım geçmektedir. Bu durumda tele etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü F_1'dir. KL teli Şekil II'deki gibi B büyüklüğündeki manyetik alana konularak üzerinden *i* şiddetinde akım geçtiğinde tele etki eden kuvvetin büyüklüğü F_2'dir.



Şekil I



Şekil II

Buna göre kuvvetlerin büyüklükleri $\frac{F_1}{F_2}$ oranı kaçtır? (sin 60° = $\sqrt{3}/2$ ve cos 60°= 1/2 alınız.)

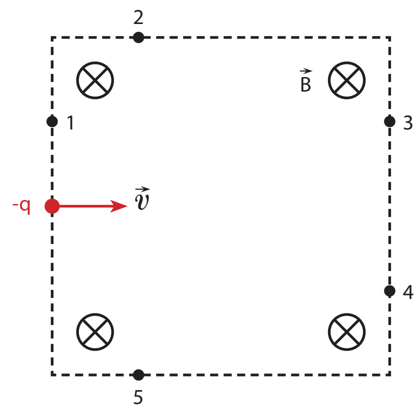
ÇÖZÜM

6. Şiddeti 0,2 T olan düzgün bir manyetik alanda yüzey alanı 50 cm^2 olan iletken tel çerçeve, alan çizgileriyle 53° lik açı yapacak şekilde durmaktadır.

Bu durumda çerçevenin içindeki manyetik akı kaç Wb olur? (sin 53° = 0,8 ve cos 53° = 0,6 alınız.)

ÇÖZÜM

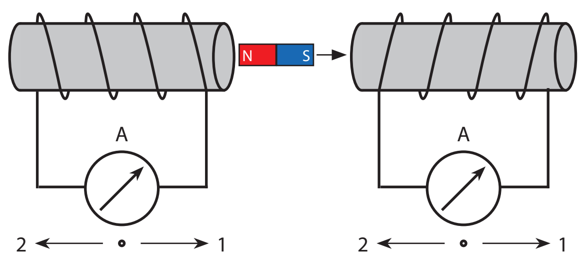
7. Yükü -q olan parçacık sayfa düzleminden içeri doğru $\vec{B}$ manyetik alanına şekildeki gibi girmektedir.



Buna göre parçacık manyetik alanı hangi noktalardan terk edebilir?

ÇÖZÜM

8. İki akım makarası arasına çubuk mıknatıs yerleştirilerek şekildeki düzenek hazırlanmıştır. Makaralar sabit tutularak mıknatıs ok yönünde hareket ettirilmektedir.



Buna göre devrelerde oluşan indüksiyon akımlarının yönü nedir?

ÇÖZÜM

2.5. ALTERNATİF AKIM



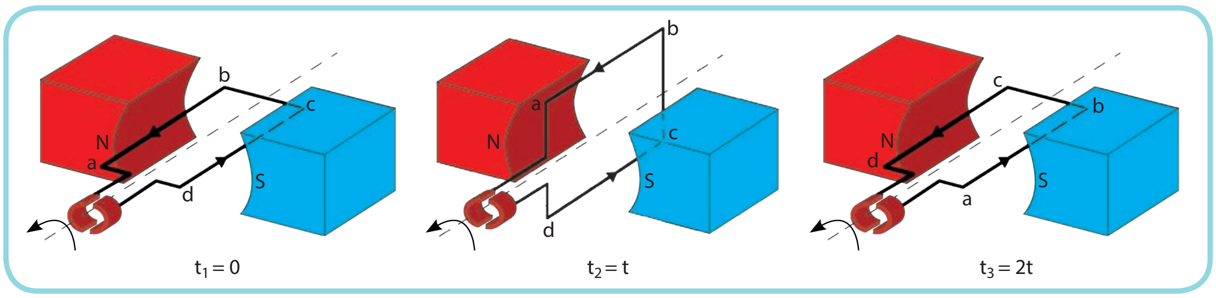
a) Pil b) Akü c) Güneş Pili ç) Bisiklet Dinamosu

Görsel 2.11: Doğru akım kaynakları

Pil, akü, güneş pili, dinamo gibi elektromotor kuvvet kaynakları ile oluşturulan elektrik devrelerinde yönü değişmeyen bir elektrik akımı elde edilir. Bu tür akımlara doğru akım, kaynaklara ise doğru akım kaynağı adı verilir (Görsel 2.11). Doğru akım, İngilizcedeki "direct current" (dayrekt körınt) kelimelerinin baş harflerinden oluşan DC şeklinde kısaltılarak ifade edilir. Doğru akımın yönü değişmez ama şiddeti, kaynak gerilimi değiştirilerek arttırılıp azaltılabilir. Doğru akım; telekomünikasyonda, sinyal sistemleri gibi elektronik cihazlarda, maden arıtma ve kaplamacılığında (elektroliz), tren, metro, tramvay gibi elektrikli taşıtlarda ve elektrik motorlarında kullanılabilir.

Zamanla yönü ve şiddeti değişen akıma **alternatif akım** denir. Alternatif akım iş ve ev ortamlarında aydınlatma, ısıtma ve soğutmada, ayrıca elektrik motorları gibi elektronik cihazlarda kullanılır. Alternatif akım, İngilizcedeki "alternating current" (altırneyting körınt) kelimelerinin baş harflerinden oluşan AC şeklinde kısaltılarak ifade edilir. Alternatif akım kaynakları elektrik devrelerinde –(~)– sembolü ile gösterilir.

A) ALTERNATİF AKIMIN ÖZELLİKLERİ



Şekil 2.69: Manyetik alanda dönen tel çerçevede oluşan akım şiddetinin zamana bağlı değişimi

Alternatif akım, iletken abcd çerçevesinin içindeki manyetik akı değişimi ile indüksiyon akımı elde edilmesi ilkesine dayanır. Alternatif akım üretmeye yarayan araçlara **alternatör** denir. Bir alternatör, yapısındaki mıknatısların oluşturduğu manyetik alan içinde bulunan çerçevenin dönmesiyle mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Şekil 2.69'daki gibi çerçeve, mıknatıslara dik iken çerçeve içindeki manyetik akı sıfırdır. Çerçeve, 0-t zaman aralığında mıknatıslara paralel hâle getirilirken çerçevenin içindeki manyetik akı artar. Çerçeve üzerinde indüksiyon elektromotor kuvveti ve indüksiyon akımı oluşur.

Çerçeve döndürülmeye devam edilerek (t-2t) zaman aralığında tekrar mıknatıslara dik konuma getirilirken çerçevedeki manyetik akı azalır. Çerçeve üzerinde yine bir indüksiyon elektromotor kuvveti ve indüksiyon akımı oluşur. Lenz Yasası gereği indüksiyon akımı kendisini oluşturan etkiye karşı koyacak yönde oluşur. Bu nedenle 0-t zaman aralığında oluşan indüksiyon akımının yönü ile t-2t zaman aralığında oluşan indüksiyon akımının yönü birbirine zıttır. Çerçeve periyodik olarak döndürüldüğü sürece halka üzerinde yönü ve şiddeti sürekli değişen alternatif gerilim ve alternatif akım elde edilir.

Alternatif akım, elektrik santrallerinde çok daha büyük ve çok sayıda alternatörle üretilir. Manyetik alandaki alternatörler hidroelektrik santrallerde akan suyun mekanik enerjisiyle; termik ve nükleer santrallerde ise buhar basıncıyla döndürülerek alternatif akım elde edilir. Santrallerde üretilen alternatif akım, insanların kullanımı için evlere ve iş yerlerine iletim hatlarıyla taşınır. Üretilen elektrik enerjisinin tüketiciye ulaşması sırasında iletim hatlarında akımın ısı etkisi nedeni ile oluşan enerji kaybının azaltılması hedeflenir. Enerji kaybını azaltabilmek için santralde üretilen alternatif akımın gerilimi yükseltilir. Santralde üretilen elektriğin gücü sabit kalmak koşulu ile $P = V \cdot i$ ifadesine göre gerilim yükseltildiğinde akım düşeceği için enerji kaybı daha az olur. Ayrıca akım düşeceği için iletim hatlarında daha ince teller kullanılabilir ve bu da iletim maliyetini azaltır. Elektrik akımının uzak mesafelere iletilmesi kolaylaşır.

Büyüklüğü ve yönü sürekli değişen akım ile gerilimin maksimum değerleri, manyetik akının değişim hızına bağlıdır. Alternatörlerdeki çerçevenin dönme frekansı aynı zamanda alternatif akımın da frekansıdır. Kullanılan alternatif akımın frekansı ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilir.

ARAŞTIRMA KONUSU

Ülkemizde alternatif gerilimin etkin değeri 220 V, frekansı ise 50 Hz'tir. Farklı ülkelerin elektrik şebekelerinde kullanılan gerilim ve frekans değerlerini araştırınız. Tabloda verilen ülkelerin gerilim ve frekans değerlerini karşılarına yazınız. Bu değerlerin birbirinden farklı olmasının sebeplerini sınıf ortamında tartışınız.

Ülke	Gerilim (V)	Frekans (Hz)
Azerbaycan		
Venezuela		
Fransa		
Kanada		
Avustralya		

63. ALIŞTIRMA

Üniversite öğrencisi Mert, öğrenci değişim programı ile Kanada'ya gitmiştir. Türkiye'den getirdiği bilgisayar ve cep telefonunu buradaki şebekeye bağladığında şarj edemediğini fark etmiştir.

Cihazlar bozuk olmadığına göre bu olayın sebebi ne olabilir?

ÇÖZÜM

64. ALIŞTIRMA

Alternatif akımın

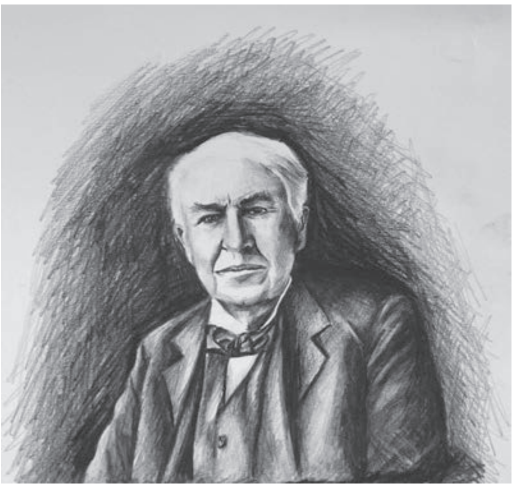
I. Yönü ve şiddeti zamanla değişir.
II. Bir frekansı vardır.
III. Elde edilmesi manyetik akı değişimi ilkesine dayanır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

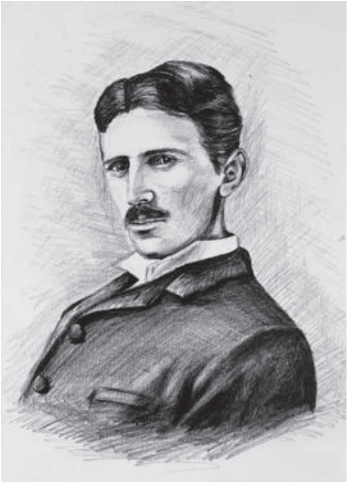
ÇÖZÜM

OKUMA PARÇASI

EDİSON VE TESLA



Görsel 2.12: Thomas Alva Edison (1847-1931)



Görsel 2.13: Nikola Tesla (1856-1943)

1880'lerde Thomas Alva Edison (Tamıs Alva Edisın) (Görsel 2.12), mucidi olduğu akkor telli lambaya olan yoğun talebi karşılayabilmek için birçok yere lambaların çalışmasını sağlayacak doğru akım (DC) jeneratörleri kurmuştur. DC sistemi, gerilimi kaynakta oluşan değerde aktardığı için farklı gerilime ihtiyaç duyulduğunda kaynaktan başka bir hat çekilmesi gerekmiştir. Ayrıca kaynaktan uzaklaştıkça iletim hatlarında oluşan enerji kayıplarını önlemek için 2 km aralıklarla jeneratörler kurmuştur. Edison, üretebildiği düşük gerilimin elektrik çarpmalarında daha az tehlike oluşturacağı gerçeğini öne sürmüştür.

1890'larda yapılan çalışmalarda alternatif akım (AC) jeneratörü ile değişken akım elde edilmiş ve AC geriliminin yükseltilip alçaltılabilmesi özelliği ortaya konulmuştur. Bu çalışmalardan sonra AC ve DC ile ilgili farklı fikirler ortaya atılmaya başlanmıştır. Nikola Tesla (Görsel 2.13) enerjinin uzak mesafelere yüksek gerilim ve alternatif akım ile aktarılabileceğini, kullanılacağı yerde de gerilimin düşürülerek tehlikelerin azaltılabileceğini açıklamıştır. Böylece birden fazla hat çekmeye gerek kalmadan çok daha uzun mesafelere elektrik enerjisinin daha az bir kayıpla aktarılmasının sağlanabileceğini ifade etmiştir.

Yaptığı buluşlarla bilimde adından epey söz ettiren Edison, dahice fikirlerini ve teorik çalışmalarını mühendis titizliğiyle hayata geçiren Tesla'nın bulduğu çözümleri dikkate almamıştır. Edison, alternatif akımın tehlikeli olduğu konusunda halkı ve yöneticileri ikna etmek için çalışmıştır. Sonra bir fuarın aydınlatma işleri için yapılan ihalede Edison'un sahibi olduğu elektrik şirketi, Tesla'nın araştırma ve geliştirme yaptığı şirketin iki katı teklif vermiştir. Maliyetin yüksek olmasının nedeni DC sistemin ihtiyacı olan ilave kablo ve jeneratör masraflarından kaynaklanmıştır. Aydınlatma işini Tesla'nın çalıştığı şirket üstlenmiştir. Tesla, fuara gelen ziyaretçileri kendi yaptığı devre ve lambalardan oluşan bir ışık gösterisiyle etkilemiştir. Böylece Tesla, alternatif akımın üstünlüklerini insanlara anlatabilme fırsatı yakalamıştır.

Fuarın hemen ardından Tesla'nın çalıştığı şirkete dev bir hidroelektrik santral kurma işi verilmiştir. Sonuç olarak, elektrik kullanımı yaygınlaşmış ve elektriği daha uzak mesafelere iletebilmek için doğru akımdan alternatif akıma geçilmiştir.

Düzenlenmiştir.

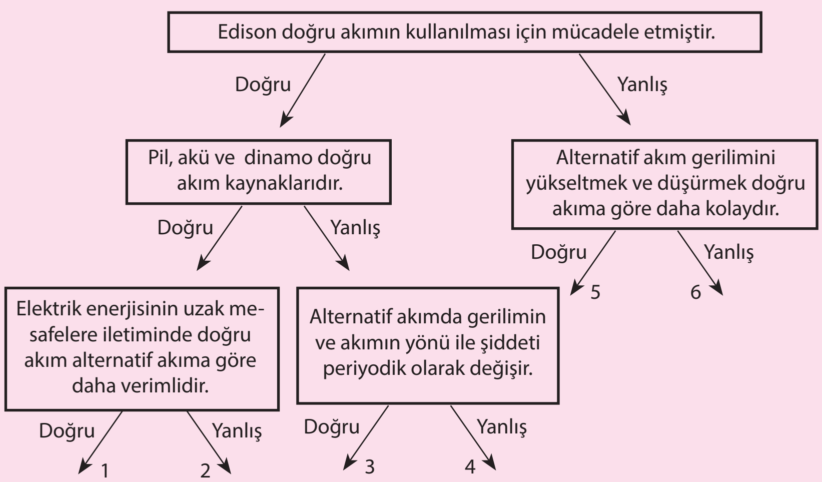
Tesla yaptığı araştırmalarda alternatif akımda verim açısından en uygun gerilimin 240 V, frekansın da 60 Hz olduğu sonucuna varmıştır. Tesla'nın frekans için 60 Hz önerisi benimsenmiştir. Bu duruma karşı çıkan Edison, insan sağlığını öne sürerek alternatif akımın voltajının düşürülüp frekansının yükseltilerek kullanılmasını desteklemiştir. Ayrıca 110 V gerilim düzeyinde çalışan cihazların değiştirilmesinin oluşturacağı aşırı maliyetler yüzünden değişiklik yapılmamış ve günümüze kadar Amerika'da 110 V gerilim kullanımı devam etmiştir. 110 V gerilim kullanılması 220 V'a göre daha maliyetlidir. Çünkü aynı güç aktarımı için kullanılan kabloların kesiti arttığından ısı kayıpları da artmıştır. Alternatif akımın yaygınlaşması ile Avrupa'da, Türkiye'de ve birçok ülkede bir ölçü standardı olması için gerilim değeri 220 V ve frekansı 50 Hz olarak benimsenmiştir. Elektrikli araçların kullanımı ve verimlilik açısından en uygun frekans 50-60 Hz arasıdır.

Alternatif akım jeneratörlerinin elektrik üretim verimi, doğru akım jeneratörlerine göre çok büyüktür. Alternatif akım motorlarının maliyeti ise doğru akım motorlarına göre çok düşüktür ve bu motorlar çok bakım gerektirmez. Bunun yanında doğru akımın da avantajlı olduğu durumlar vardır. Doğru akım motorlarında gerilim sabit olduğundan devir ayarı ve düzenliliği alternatif akım motorlarına göre daha kolay yapılmaktadır. Doğru akım motorlarının kullanıldığı yerlerde alternatif akım, doğru akıma çevrilerek kullanılmaktadır. Alternatif akım ile elektroliz olayı ve akü şarjı yapılamaz. Doğru akımın depo edilmesi ve taşınması alternatif akıma göre daha kolaydır. Aynı gerilim altında doğru akım, alternatif akıma göre can güvenliği açısından daha az tehlikelidir.

65. ALIŞTIRMA

Doğru akım ve alternatif akım konularıyla ilgili aşağıda verilen tanılayıcı dallanmış ağaçtaki ifadelerin bazıları doğru bazıları yanlıştır. İlk ifadeden başlayıp ifadelerin doğru ya da yanlış olduğuna karar vererek yönlendirici okları takip ediniz. Son olarak ulaştığınız çıkışı işaretleyiniz. Unutmayınız, sadece bir çıkıştan çıkabilirsiniz.

ÇÖZÜM



66. ALIŞTIRMA

Alternatif akıma ve doğru akıma ait bazı özellikler tabloda verilmiştir.

Verilen özelliklerin hangi akıma ait olduğunu belirleyerek (x) ile işaretleyiniz.

ÇÖZÜM

Özellikler	AC	DC
Elektrik enerjisinin elektrik santrallerinden uzak mesafelere iletilmesi daha kolaydır.		
Yapılan elektrik motoru daha düzenli devirle çalışır ve devir ayarı gerekmez.		
Aynı gerilimde daha az tehlikelidir.		
Elektroliz ve kaplamacılıkta kullanılır.		
Üretim ve dağıtım maliyeti daha yüksektir.		
Akım yönü sürekli değişir.		
Yapılacak elektrik motoru daha verimlidir ve çok bakım gerektirmez.		
Pilleri ve aküleri şarj eder.		

67. ALIŞTIRMA

Tabloda bazı akım kaynakları verilmiştir. Bu kaynakların bir kısmı AC kaynağı, bir kısmı da DC kaynağıdır.

Buna göre kaynakları, ürettikleri akımlarla eşleştiriniz.

ÇÖZÜM

AC

Alternatör
Dinamo
Güneş pili
Pil veya akü
Termik santral
Hidroelektrik santrali

DC

Etkinlik 2.2: Edison mı, Tesla mı?

Etkinliğin Amacı

Edison ve Tesla'nın alternatif akım ve doğru akım ile ilgili görüşlerini karşılaştırmak

Etkinliğin Yapılışı

Thomas Edison'ın DC, Nikola Tesla'nın da AC ile ilgili görüşlerinden faydalanarak bu iki akımın günlük hayatımızda ve teknolojideki kullanım özelliklerini, avantajlarını ve dezavantajlarını tartışmak üzere bir münazara düzenleyiniz.

1. Dörder kişilik iki grup oluşturunuz. Gruplardan birini Edison, diğerini Tesla grubu olarak belirleyiniz. Oluşturduğunuz gruplar için birer grup sözcüsü (başkan) seçiniz.
2. Münazaranızı değerlendirmeleri için en az üç kişilik bir jüri oluşturunuz.
3. Münazara kurallarını, konuşma, itiraz ve savunma sürelerini belirleyiniz.
4. Münazara konunuz hakkında bir hafta süreyle araştırma yapınız.
5. Münazaranızı bilimsel kaynaklara dayanarak ve tartışma kurallarına uyarak yapınız.

Değerlenedirme

Jüri üyeleri, aşağıda verilen "Münazara Değerlendirme Formu"nu kullanarak grupları değerlendirir.

MÜNAZARA DEĞERLENDİRME FORMU

Sıra No	Değerlendirme Kıstasları	Puan	Aldığı Puan	Düşünceler
1.	İnandırıcılık ve savunma performansı	15		
2.	Karşı görüşü eleştirme ve çürütme performansı	15		
3.	Doğru ve etkili konuşma	15		
4.	Zamanı doğru kullanma	10		
5.	Jest ve mimikler	15		
6.	Savunduğu tez ile ilgili bilimsel kaynakları etkili kullanma	15		
7.	Konuya hâkim olma	15		
	TOPLAM	100		

Etkin Değer

Alternatif akım ile çalışan herhangi bir devre elemanında harcanan gücü bulmak için değişen akım ve gerilimin hangi andaki değeri kullanılmalıdır?

Alternatif akım devrelerinde gerilim ve akımın değeri sürekli değişir. Akım bir periyotluk sürede maksimum değerine iki defa ulaşır. Bu nedenle gücün hesabında gerilim ve akımın anlık değerinin veya maksimum değerinin kullanılması hatalara neden olur. Örneğin akım ve gerilimin maksimum değeri kullanılarak hesaplanan güç değeri, gerçek değerinden daha fazla olur. Bu nedenle güç hesaplaması yapılırken akım ve gerilimin anlık değerleri yerine etkin değerleri kullanılmalıdır.

Alternatif akımın bir dirençte belirli bir sürede sağladığı ısı miktarı, aynı dirençte ve aynı sürede doğru akımla da elde edilebilir. Bu enerjiyi sağlayan doğru akım geriliminin büyüklüğüne ve akım şiddetine, alternatif gerilimin ve alternatif akımın **etkin değeri** denir. Alternatif akım devrelerinde kullanılan ampermetre ve voltmetrenin ölçtüğü değerler akım ve gerilimin etkin değerleridir. Etkin değerlerin kullanılması, alternatif akım değerlerinin doğru akım cinsinden ifade edilmesinde kolaylık sağlar. Yapılan deneyler ve hesaplamalar akım ve gerilimin etkin değerlerinin maksimum değerlerinden daha küçük olduğunu göstermiştir.

68. ALIŞTIRMA

Günlük hayatta sıklıkla kullanılan cihazların bazıları verilmiştir.

I. El feneri
II. Radyo
III. Çamaşır makinesi
IV. Cep telefonu
V. Ütü

Bu cihazların hangileri doğru akımla, hangileri alternatif akımla çalışır?

ÇÖZÜM

69. ALIŞTIRMA

Özdeş K ve L ısıtıcılarından K ısıtıcısı doğru akım kaynağına, L ısıtıcısı alternatif akım kaynağına bağlanmıştır.

Isıtıcıların aynı sürede yaydığı ısı enerjileri eşit olduğuna göre ısıtıcılardan geçen akımları ve ısıtıcıların gerilimlerini karşılaştırınız.

ÇÖZÜM

B) ALTERNATİF AKIMDA DİRENÇ, BOBİN VE SIĞACIN DAVRANIŞI

ETKİNLİK VAR

Etkinlik 2.3: Alternatif Akım ve Doğru Akım Devrelerinde Direnç (Lamba), Bobin ve Sığacın Davranışı

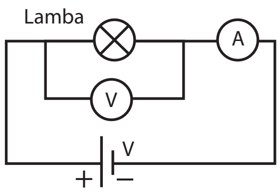
Etkinliğin Amacı

Alternatif akım ve doğru akım devrelerinde direnç (lamba), bobin ve sığacın davranışını incelemek

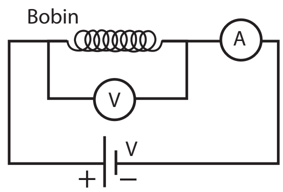
Araç Gereç

» Lamba (12 V), sığaç (12 V'tan büyük olmalı) ve bobin
» Ampermetre (DC ve AC) ve voltmetre (DC ve AC)
» Doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) güç kaynağı
» Bağlantı kabloları

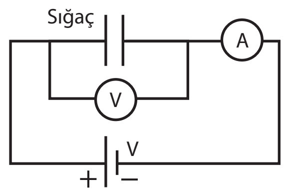
Etkinliğin Yapılışı



Şekil I



Şekil II



Şekil III

1. Lamba, DC ampermetre, DC voltmetre ve DC güç kaynağı ile Şekil I'deki devreyi kurunuz ve güç kaynağını 12 V'a ayarlayınız. Ampermetre ve voltmetrenin gösterdiği değerleri ve lambanın davranışını gözlemleyiniz.
2. Devredeki ampermetre, voltmetre ve güç kaynağı yerine AC ampermetre, AC voltmetre ve AC güç kaynağı bağlayınız ve güç kaynağını 12 V'a ayarlayınız. Ampermetre ve voltmetrenin gösterdiği değerleri ve lambanın davranışını gözlemleyiniz.
3. Bobin (indüktör), DC ampermetre, DC voltmetre ve DC güç kaynağı ile Şekil II'deki devreyi kurunuz ve güç kaynağını 12 V'a ayarlayınız. Devredeki ampermetrenin ve voltmetrenin gösterdiği değerleri ve bobinin davranışını gözlemleyiniz.
4. Devredeki ampermetre, voltmetre ve güç kaynağı yerine AC ampermetre, AC voltmetre ve AC güç kaynağı bağlayınız ve güç kaynağını 12 V'a ayarlayınız. Ampermetre ve voltmetrenin gösterdiği değerleri ve bobinin davranışını gözlemleyiniz.
5. Sığaç, DC ampermetre, DC voltmetre ve DC güç kaynağı ile Şekil III'teki devreyi kurunuz ve güç kaynağını 12 V'a ayarlayınız. Devredeki ampermetrenin ve voltmetrenin gösterdiği değerleri ve sığacın davranışını gözlemleyiniz.
6. Devredeki ampermetre, voltmetre ve güç kaynağı yerine AC ampermetre, AC voltmetre ve AC güç kaynağı bağlayınız ve güç kaynağını 12 V'a ayarlayınız. Ampermetre ve voltmetrenin gösterdiği değerleri ve sığacın davranışını gözlemleyiniz.

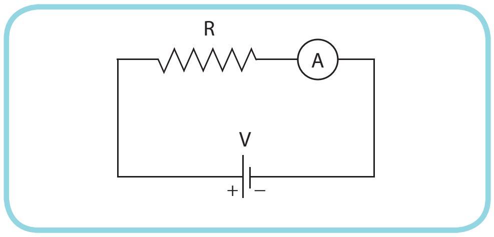
Değerlendirme

1. Lamba, DC ve AC kaynağına bağlı iken ampermetre ve voltmetrede gözlemlediğiniz değişiklikler ve lambanın davranışı nasıldır?
2. Bobin DC ve AC kaynağına bağlı iken ampermetre ve voltmetrede gözlemlediğiniz değişiklikler ve bobinin davranışı nasıldır?
3. Sığaç DC ve AC kaynağına bağlı iken ampermetre ve voltmetrede gözlemlediğiniz değişiklikler ve sığacın davranışı nasıldır?

Alternatif Akım Devrelerinde Direnç

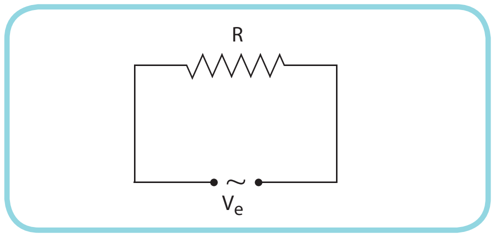
Şekil 2.70'te potansiyel farkı V olan üreteç ve R büyüklüğündeki direnç ile doğru akım devresi kurulmuştur. Doğru akım devrelerinde bulunan R direnci elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürür. Direncin uçları arasındaki gerilim ve direnç üzerinden geçen akım şiddeti sabittir. Büyüklüğü R olan dirençten geçen akım şiddeti i ve direncin gücü P ise

$i = \frac{V}{R}$ ve $P = i^2 \cdot R$ olur.



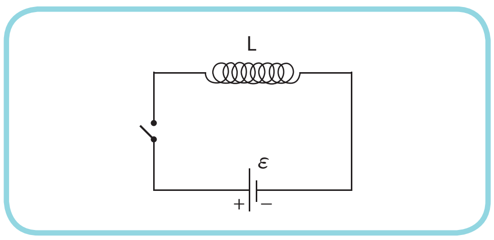
Şekil 2.70: Doğru akım üretecine bağlanmış direnç

Şekil 2.71'deki gibi R direnci alternatif akım devresine bağlanırsa direnç yine Ohm Yasası'nda olduğu gibi akıma karşı gösterilen zorluğu ifade eder. Alternatif akım devrelerinde akıma gösterdiği zorluk sebebiyle sadece ısı kayıpları ile etki gösteren dirence **ohmik direnç** denir. Akımın yönünün ve şiddetinin değişmesi direncin devredeki davranışını değiştirmez. Alternatif akıma bağlı R direncinin gücü hesaplanırken akım ve gerilimin etkin değerleri kullanılır. Akımın etkin değeri i_e ise R direncinin gücü $P = i_e^2 \cdot R$ olur. Direnç değeri alternatif akımın frekansına bağlı değildir.



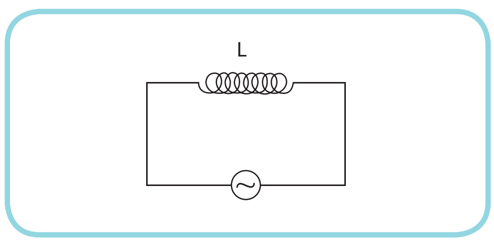
Şekil 2.71: Alternatif akım üretecine bağlanmış direnç

Şekil 2.72'de elektromotor kuvveti ε olan doğru akım üreteci, bobin ve anahtar kullanılarak bir elektrik devresi oluşturulmuştur. Devredeki anahtar kapatıldığında akım sıfırdan maksimum değere hemen yükselmez. Akım zamanla arttıkça bobindeki manyetik akı da artar ve bobin üzerinde öz-indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Lenz Yasası'na göre oluşan öz-indüksiyon elektromotor kuvvetinin yönü devrenin elektromotor kuvvetinin yönüne terstir. Oluşan elektromotor kuvveti akımın aniden artmasını engeller. Anahtar açıldığında ise bobindeki manyetik akı azalır ve yine devrenin elektromotor kuvvetiyle aynı yönlü bir öz-indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur. Oluşan elektromotor kuvveti akımın aniden azalmasını engeller.



Şekil 2.72: Doğru akım üretecine bağlanmış bobin

Alternatif akım devresine bağlanan bir bobinin üzerinden geçen akımın yön ve şiddetinin sürekli değişmesi, bobinde de sürekli bir akı değişimine neden olur (Şekil 2.73). Bobin, oluşan öz-indüksiyon elektromotor kuvveti ile akımın değişimine karşı koyar. Bu nedenle gerilimin maksimum değerine ulaştığı anda akım henüz maksimum değerine ulaşamamış olur.



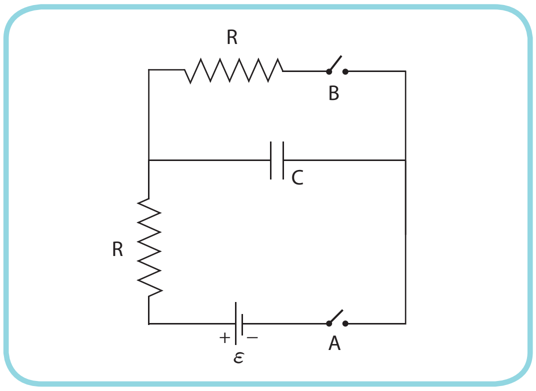
Şekil 2.73: Alternatif akım üretecine bağlanmış bobin

Alternatif akım devresine bağlı bobin, merkezinde oluşan manyetik alanda elektrik enerjisini depo eder ve depoladığı enerjiyi tekrar devreye verir. Bu nedenle bobinin ohmik direnci ihmal edilirse alternatif akım devresinde enerji harcanmaz. Bobinin geometrik özelliklerine, ortama ve diğer fiziksel karakteristiklerine bağlı olan büyüklüğe **indüktans** denir. İndüktans **L** sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **henry**dir (**H**). İndüktans, bobinin depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür.

Alternatif akım devresinde bobinin yapıldığı iletkenden dolayı sahip olduğu ohmik direncinin dışında öz-indüksiyon akımı nedeniyle devre akımına gösterdiği zorluğa **indüktif reaktans** denir. İndüktif reaktans X_L sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi **ohm**dur (Ω). İndüktif reaktans, alternatif akımın frekansı ile birlikte bobinin fiziksel özelliklerine ve ortama bağlıdır.

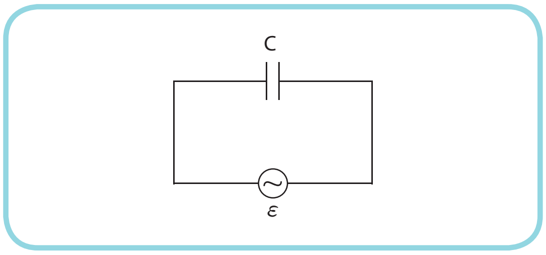
Bobin, alternatif akım devrelerinde frekansı yüksek olan alternatif akıma daha fazla indüktif reaktans uyguladığı için bu frekanstaki akımları düşük şiddetle geçirir. Düşük frekanslardaki akımları da yüksek şiddette geçirdiğinden istenilen frekans ve akım şiddetleri ayarlanabilir. Bobinler; motorlarda, elektromıknatıslarda, güç kaynaklarında, ısıtıcılarda, radyolarda vb. yerlerde istenilen frekans ve akım şiddetlerini elde edebildiğimiz elektronik filtre devrelerinde kullanılır. Radyo alıcı-verici devrelerinin yapımında da bobinler kullanılır. Akım değişimine karşı gösterdiği bu direnç etkisi sebebiyle evlerde ve sanayide devre koruyucu olarak da kullanılır. Yıldırım düşmesi ve diğer kaçak akımlarda canlıların ve elektronik cihazların zarar görmemesi için bobinli devreler kullanılır.

Şekil 2.74'te doğru akım kaynağı, sığaç, anahtarlar ve R dirençleri kullanılarak bir devre kurulmuştur. A anahtarı kapatıldığında teller üzerindeki kısa süreli yük hareketi ile sığaç yük depolar (şarj). Bu sürede sığacın gerilimi artarak doğru akım kaynağının elektromotor kuvvetine zıt ve eşit büyüklüğe ulaşır. Bu andan itibaren devreden akım geçmez. A anahtarı açılıp B anahtarı kapatıldığında sığaç boşalmış (deşarj) olur. Sığacın bulunduğu koldan sadece sığaç dolana kadar akım geçtiği için sığaç doğru akımı durdurucu bir etki oluşturur. Biriken yük ise kısa süreli ani akımlar oluşturur. Sığaçlar elektrik enerjisini levhaları arasında oluşan elektrik alanda depolar. Sığaç depoladığı enerjiyi bu alanın boşaltılması sırasında tekrar devreye verir. Fotoğraf makineleri ve kameralardaki flaş ışığı bu şekilde elde edilir.



Şekil 2.74: Doğru akım üretecine bağlanmış sığaç ve direnç

Şekil 2.75'te sığası C olan bir sığaç, etkin gerilim değeri ε olan alternatif akım devresine bağlanmıştır. Alternatif akım devrelerinin gerilimi sürekli değişken olduğu için sığaçtaki gerilim ile kaynağın gerilimi eşitlenene kadar yük akışı olur ve bu gerilimler eşitlendiğinde yük akışı durur. Bu esnada gerilim yön değiştirdiği için aynı süre içinde sığaç boşalacaktır. Alternatif gerilimin yönü sürekli değiştiği için sığaç sürekli dolup boşalacaktır.



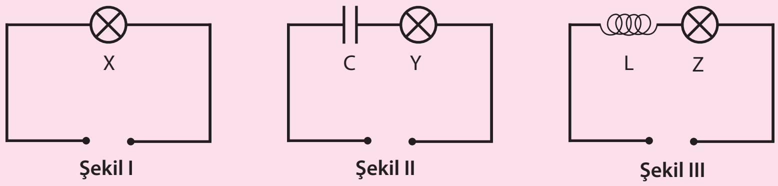
Şekil 2.75: Alternatif akım üretecine bağlanmış sığaç

Sığacın yük depolayabilme kapasitesine **kapasitans** denir. Kapatisans **C** sembolü ile gösterilir ve birimi **farad**dır (**F**). Kapasitans, aynı gerilim altında sığacın depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür. Alternatif akım devresindeki sığaçta doğru akımdaki yüklenmenin iki yönlü olarak gerçekleştiği gözlemlenir. Sığaçlar, gerilimin değişimine bağlı tepki gösterir. Sığacın uçlarına üzerindeki mevcut gerilimden daha düşük bir gerilim uygulanırsa sığaç devreye akım sağlar ve boşalır. Eğer sığaç uçlarına, üzerindeki mevcut olan gerilimden daha büyük bir gerilim uygulanırsa sığaç devreden akım çeker ve yüklenir. Alternatif akım devrelerinde sığacın akıma karşı gösterdiği zorluğa **kapasitif reaktans** denir. Kapasitif reaktans X_C sembolü ile gösterilir ve birimi **ohm**dur (Ω). Kapasitif reaktans alternatif akımın frekansı, sığacın fiziksel özellikleri ve levhalar arasındaki yalıtım malzemesine bağlı olarak değişir. Sığacın fiziksel yapısından dolayı ohmik direnci vardır. Bu nedenle elektronik devrelerde kullanılan sığaçlar zamanla ısınır. Sığacın ohmik direnci ihmal edilirse ısı kayıpları yok sayılabilir.

70. ALIŞTIRMA

Akım kaynaklarına bağlanan X, Y ve Z lambaları, sığaç ve bobinle Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki devreler kurulmuştur. Devrelerde X, Y ve Z lambaları sürekli ışık vermektedir.

Akım kaynaklarından biri alternatif akım kaynağı diğerleri doğru akım kaynağı olduğuna göre



a) Hangi devre alternatif akım kaynağına bağlıdır?

b) Doğru akım kaynakları yerine aynı etkin gerilime sahip alternatif akım kaynakları kullanılırsa lamba parlaklıkları nasıl değişir?

ÇÖZÜM

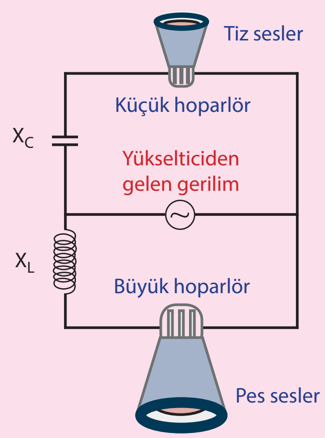
Alternatif Akım Devrelerinde Empedans

Her bir devre elemanı kendine has ohmik dirence sahiptir. Alternatif akım devrelerinde direnç, bobin ve sığaç tek başına bulunabileceği gibi amaca göre birlikte de bulunabilir. Birden fazla devre elemanının kullanıldığı alternatif akım devrelerinde devre elemanlarının gösterdiği dirençlerin eş değerine **empedans** denir. Empedans **Z** sembolü ile gösterilir ve birimi **ohm**dur (Ω).

71. ALIŞTIRMA

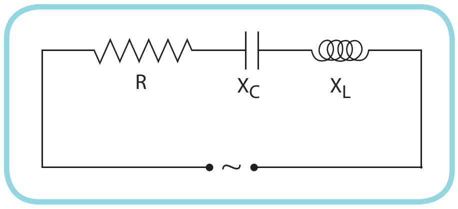
Yükseltici (amplifikatör), mikrofondan gelen elektrik sinyallerini yükselterek hoparlöre aktaran bir cihazdır. Şekilde yükselticinin hoparlörlere bağlandığı devre verilmiştir. Hoparlörlere aktarılan elektrik sinyalleri, yüksek ve düşük frekanslı olmak üzere ikiye ayrılır. Bu elektrik sinyalleri devrenin farklı kısımlarında sese dönüşür. Devrede sığaçlı ve bobinli iki kısım bulunur. Pes seslerin çıktığı hoparlör bobine bağlı iken tiz seslerin çıktığı hoparlör sığaca bağlıdır.

Buna göre devrede kullanılan sığaç ve bobinin işlevini açıklayınız?



ÇÖZÜM

Rezonans Durumu



Şekil 2.76: Alternatif akım kaynağına bağlanmış direnç, sığaç ve bobinden oluşan devre

Direnç, sığaç ve bobinin seri bağlanmasıyla alternatif akım devresi oluşturulmuştur (Şekil 2.76). Her devre elemanının bir direnci vardır. Sığacın kapasitif reaktansı ve bobinin indüktif reaktansı alternatif akım frekansına bağlı olarak değişir. Belli bir frekans değerinde sığacın kapasitif reaktansı ile bobinin indüktif reaktansı birbirine eşitlendiğinde **rezonans** durumu oluşur. Bu durumda devrenin empedansı en küçük değeri aldığından akım en büyük değerini alır. Bunu sağlayan frekans değerine de **rezonans frekansı** denir. Bir radyo yayınının frekansı ayarlanırken alıcı devrenin frekansı ile gelen elektromanyetik dalgaların frekansı eşitlenir ve bu durumda rezonans oluşur. Böylece radyodan bu frekanstaki sesler daha net çıkar. Çünkü diğer frekanstaki dalgalar rezonansa giremediği için seslerin karışıklığı daha az olur. Bu rezonans frekansına yakın frekansta yayın yapan istasyonların sesleri çok az da olsa karışabilir. Radyo kanalı ayarlanırken sığaç kapasitansı ya da bobinin indüktansı değiştirilerek birbirine eşitlenir. Güvenlik noktalarında kullanılan metal dedektörlerinde devre rezonans durumuna getirilerek kullanılmaktadır. Kontrol esnasında bir metalle dedektöre yaklaşılması durumunda devre indüktansı artar ve devrenin akımı değişince cihaz uyarı verir.

72. ALIŞTIRMA

Tabloda verilen alternatif akımla ilgili kavram ve tanımları uygun şekilde eşleştiriniz.

ÇÖZÜM

1	İndüktans	......	Alternatif akım devrelerinde bobinin akıma karşı gösterdiği zorluktur.
2	Kapasitans	......	Alternatif akım devrelerinde akımın en büyük etkin değeri aldığı durumdur.
3	İndüktif Reaktans	......	Alternatif akım devrelerinde sığacın akıma karşı gösterdiği zorluktur.
4	Kapasitif Reaktans	......	Bobinin depolayacağı enerjinin bir ölçüsüdür.
5	Rezonans	......	Alternatif akım devrelerinde devre elemanlarının gösterdiği dirençlerin eş değeridir.
6	Empedans	......	Aynı gerilim altında sığacın depolayacağı enerjinin bir ölçüsüdür.

47. ÖRNEK

Bobin, sığaç ve dirençlerle seri bağlı bir alternatif akım devresi kurulmuştur. Alternatif gerilimin frekansı 100 Hz iken akım maksimum olmaktadır. Alternatif akım kaynağının maksimum gerilimi değiştirilmeden frekansı önce 50 Hz sonra 200 Hz yapılarak akım şiddetleri ölçülmüştür.

Buna göre alternatif akımın frekansı 50 Hz ve 200 Hz yapıldığında ölçülen akım şiddetleri ilk duruma göre nasıl değişir?

ÇÖZÜM

Alternatif akımın frekansı 100 Hz iken akım maksimum olduğuna göre devre rezonans frekansındadır. Empedans ohmik direnç kadardır. Bu frekansın altındaki 50 Hz'te ve üstündeki 200 Hz'te empedans artar ve devre akımı azalır.

2.6. TRANSFORMATÖRLER

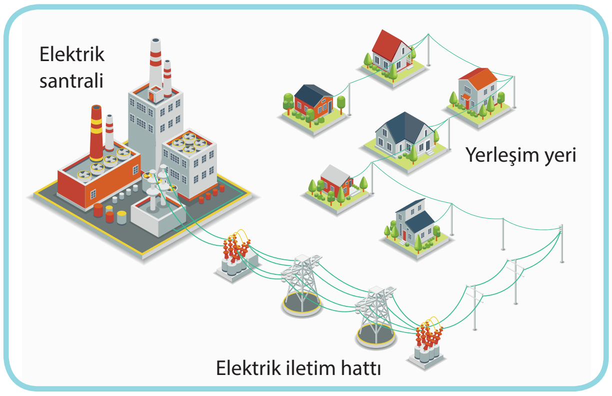
Kullanım amacına göre alternatif akımın gerilimini yükseltmek ya da düşürmek için kullanılan araçlara **transformatör** (trafo) denir.

Gerilimin yükseltilmesi ya da düşürülmesi nasıl gerçekleştirilir?

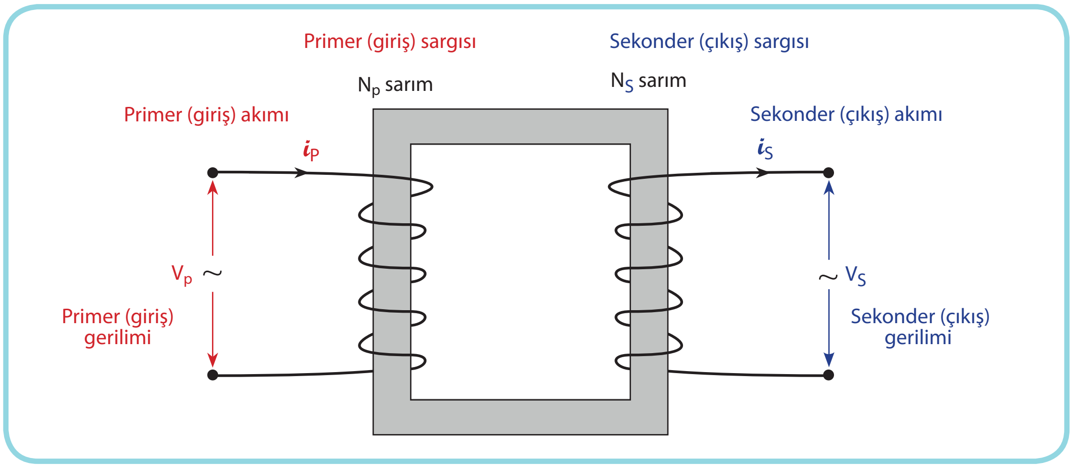
Elektrik akımının uzak mesafelere taşınması sırasında iletim hattının direnci yüzünden oluşan ısı kayıplarını en aza indirmek için yüksek gerilime sahip alternatif akım tercih edilir. Elektrik santrallerinde üretilen elektriğin gerilimi ihtiyaca göre yükseltilir. Yüksek gerilim, havayı iyonize ederek iletken hâle getirdiğinden doğa ve canlılar için tehlike oluşturabilir. Yüksek gerilim değerinin güvenlik açısından aşılmaması gereken bir sınırı vardır.

Genellikle 350 000 V civarında gerilim taşıyan iletim hatları kullanılır. Oldukça yüksek olan bu gerilimin evlerde ve iş yerlerinde doğrudan kullanılması mümkün değildir. Elektrik akımı yerleşim yerlerine veya iş yerlerine ulaştığında gerilim düşürülerek kullanılabilir seviyeye getirilir (Şekil 2.77).

Elektrik santralinde elde edilen gerilim V, akım şiddeti i ise iletim hattına sağlanan güç $P_{verilen} = V \cdot i$ ile hesaplanır. Gerilim arttırıldığında güç kaybını azaltmak için akım azaltılır.



Şekil 2.77: Santralde üretilen elektriğin yerleşim yerlerine aktarımı



Şekil 2.78: Transformatör

İdeal bir transformatörün ana bileşenleri iki bobindir. Bobinler birbirinden yalıtılmıştır. Ancak ikisi de aynı demir çekirdek üzerindedir (Şekil 2.78).

Bobinlerden birisi alternatif akım kaynağına bağlanır. Alternatif akım kaynağına bağlanan bobine **primer bobin**, diğer bobine ise **sekonder bobin** denir. Alternatif akım, primer bobinde değişken bir manyetik akı oluşturur. Oluşan manyetik akı değişimi demir çekirdek aracılığıyla sekonder bobine taşınır. Primer bobindeki manyetik akı değişimi, sekonder bobinde de oluşacaktır. Bu da sekonder bobinde bir indüksiyon elektromotor kuvveti oluşmasını sağlayacaktır.

Primer bobinde oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti $\varepsilon_P = -N_P \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, sekonder bobinde oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti $\varepsilon_S = -N_S \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ dir. Buna göre

$$\frac{\varepsilon_P}{\varepsilon_S} = \frac{N_P}{N_S}$$ olur.

Sarım sayıları $N_P > N_S$ ise gerilimi alçaltan transformatördür ve çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük olur.

Sarım sayıları $N_P < N_S$ ise gerilimi yükselten transformatördür ve çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olur.

Demir çekirdeğinde ve tellerinde güç kayıpları ihmal edilen transformatör, ideal bir transformatördür ve verimi %100'dür. Bu durumda giriş gücü ile çıkış gücü eşit olur.

Primer ve sekonder gerilimleri V_P ve V_S

Primer ve sekonder akımları i_P ve i_S ise

Giriş gücü $P_P = V_P \cdot i_P$

Çıkış gücü $P_S = V_S \cdot i_S$

$P_{giriş} = P_{çıkış} \implies V_P \cdot i_P = V_S \cdot i_S$ olur.

Verim, çıkışta alınan gücün girişte verilen güce oranını ifade eder.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan (sekonderde) güç}}{\text{Verilen (primerde) güç}}$$ şeklinde hesaplanır.

İdeal kabul edilen transformatörlerde verim %100'e ulaşırken gerçek hayatta verim %100'e ulaşamaz. Akımın ısı etkisinden dolayı bir süre sonra transformatör ısınır ve transformatörde güç kaybı olur. Isınmadan dolayı transformatöre girişte verilen enerji ile çıkışta alınan enerji eşit olmaz. Bu nedenle $P_{giriş} > P_{çıkış}$ olur. Bu tür transformatörler, ideal olmayan transformatörlerdir.

73. ALIŞTIRMA

Transformatörler

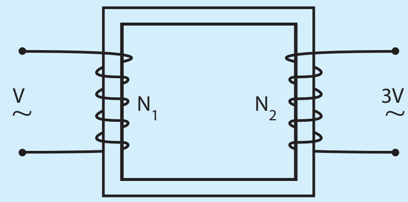
I. Doğru akım devrelerinde gerilimi yükseltmek için kullanılabilir.
II. Elektrik santrallerinde elde edilen elektrik akımının iletiminde gerilimi yükseltmek ve alçaltmak amacıyla kullanılır.
III. 110 V'luk gerilimle çalışan bir elektrikli cihazı etkin gerilimi 220 V olan şehir şebekesinde çalıştırmak için kullanılabilir.
IV. Daha fazla enerji elde edilmesini sağlar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

ÇÖZÜM

48. ÖRNEK

Şekildeki transformatörün girişine (primer) V alternatif gerilimi uygulandığında çıkışından (sekonder) 3V gerilimi alınmaktadır.



Buna göre

a) Transformatör yükseltici mi yoksa alçaltıcı mıdır?

b) Bobinlerin sarım sayılarının $\frac{N_1}{N_2}$ oranı kaçtır?

c) Transformatörün verimi %100 ise primer akımı i iken sekonder akımı kaç i olur?

ç) Transformatörün verimi %60 ise sekonder akımı kaç i olur?

ÇÖZÜM

a) Gerilim çıkışta yükseldiği için transformatör yükselticidir.

b) $\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \Longrightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{V}{3V} = \frac{1}{3}$

c) Giriş (primer) gücü $P_P = V_P \cdot i_P$ ve çıkış (sekonder) gücü $P_S = V_S \cdot i_S$ olur.

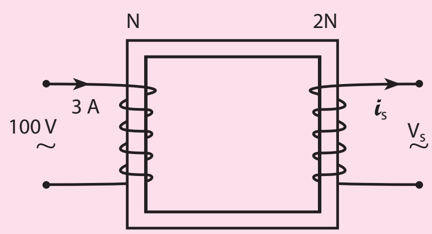
$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan (sekonderde) güç}}{\text{Verilen (primerde) güç}}$$

%100 ise giriş gücü çıkış gücüne eşittir. $V \cdot i = 3V \cdot i_S \Longrightarrow i_S = \frac{i}{3}$ olur.

ç) Verim %60 olduğunda sekonder akım $\frac{60}{100} = \frac{3V \cdot i_S}{V \cdot i} \Longrightarrow i_S = \frac{i}{5}$ olur.

74. ALIŞTIRMA

İdeal bir transformatörün primerinde N ve sekonderinde 2N sarım yapılmıştır.

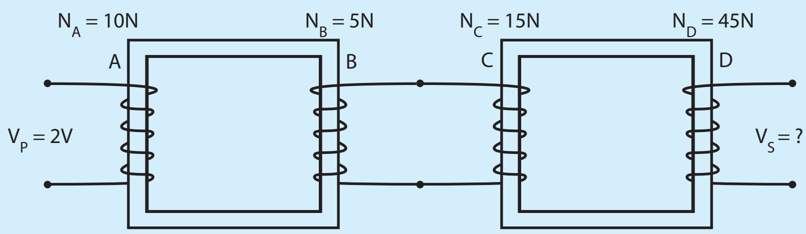


Buna göre primerindeki gerilim 100 V, akım 3 A olduğuna göre sekonderindeki akım kaç amper, gerilim kaç volt olur?

ÇÖZÜM

49. ÖRNEK

İki transformatörün birbirine bağlanması sonucu oluşan sistemde A, B, C ve D bobinlerinin sarım sayıları sırasıyla 10N, 5N, 15N ve 45N'dir.



A bobinine uygulanan alternatif gerilimin etkin değeri 2V olduğuna göre D bobininden alınan gerilimin etkin değeri kaç V olur?

ÇÖZÜM

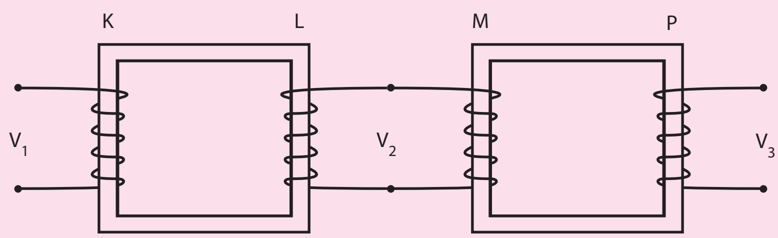
$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$ olduğundan B bobininden alınan gerilim $\frac{10}{5} = \frac{2V}{V_B} \Longrightarrow V_B = V$ olur.

B ve C bobinlerinden aynı akım geçtiği için bu gerilim C bobinine aynen aktarılır.

D bobininden alınan gerilim ise $\frac{15}{45} = \frac{V}{V_S} \Longrightarrow V_S = 3V$ olur.

75. ALIŞTIRMA

İdeal iki transformatörün birbirine bağlanması sonucu oluşan sistemde K, L ve P kollarındaki sarım sayıları sırasıyla 3N, 12N ve N'dir. **M kolundaki sarım sayısı N'nin tam katı olduğuna göre**



a) Sistemin alçaltan transformatör görevi görmesi için M'nin sarım sayısı N_M en az kaç N olur?

b) V_1, V_2 ve V_3 gerilimlerini büyükten küçüğe sıralayınız.

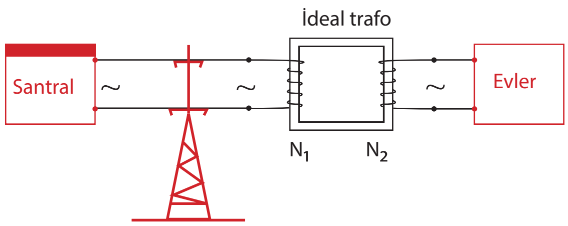
ÇÖZÜM

ARAŞTIRMA KONUSU

Transformatörlerin kullanıldığı yerleri araştırınız.

5 VE 6. BÖLÜM SONU SORULARI

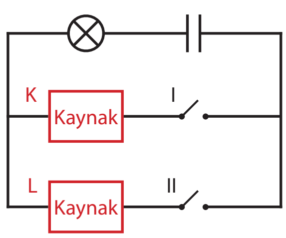
1. Bir elektrik santralinin trafo girişine ulaştırdığı gerilim düşürülerek evlerde kullanıma uygun hâle getirilmektedir.



Santralin trafo girişinde oluşturduğu gerilim arttırıldığında evlerdeki elektrik kullanımı için trafoda ne gibi değişiklikler yapılabilir?

ÇÖZÜM

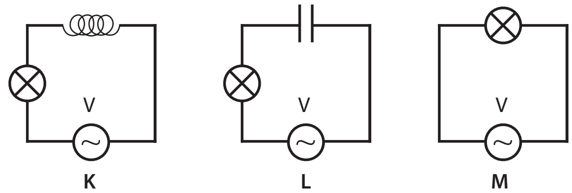
2. Lamba, sığaç ve kaynaklar kullanılarak şekildeki devre kurulmaktadır. I anahtarı kapatıldığında lamba bir an yanıp sönmektedir. II anahtarı kapatılıp I anahtarı açılınca lamba sürekli yanmaktadır.



Buna göre kaynaklardan hangisi alternatif akım, hangisi doğru akım kaynağıdır?

ÇÖZÜM

3. Alternatif akıma bağlanan sığaç, bobin ve lambalarla kurulan devrelerde lamba parlaklığı arttırılmak istenmektedir.



Buna göre

I. Kaynakların frekansı sabit tutularak V gerilimleri arttırılmalı

II. Kaynakların V gerilimi sabit tutularak frekans arttırılmalı

III. Kaynakların V gerilimi ve frekansı sabit tutulup lambaların direnci azaltılmalı

işlemlerinden hangileri yapılırsa lambaların parlaklıkları artar?

ÇÖZÜM

4. Alternatif akımla ilgili yazılan ifadelerden doğru olanların önüne (D), yanlış olanların önüne (Y) yazınız.

( ) **I.** İndüksiyon yolu ile elde edilebilir.
( ) **II.** Yönü ve büyüklüğü periyodik olarak değişir.
( ) **III.** Uzak mesafelere elektrik iletiminde tercih edilir.
( ) **IV.** Gerilimi yükseltmek ve düşürmek kolaydır.
( ) **V.** Pilleri ve aküleri şarj etmek için kullanılır.

ÇÖZÜM

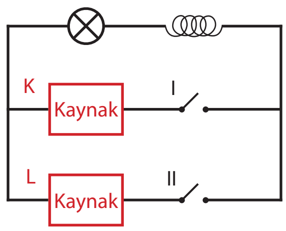
5. İdeal transformatörlerle ilgili olarak

I. Gerilimi yükseltir ya da düşürür.
II. Doğru akımla çalışır.
III. Çıkış gücü, giriş gücüne eşittir.

ifadelerinden hangileri yanlıştır? Yanlış olan ifadelerin doğrusunu yazınız.

ÇÖZÜM

6. Lamba ve bobin şekildeki gibi bağlı iken K ve L kaynakları ile devre çalıştırılmak istenmektedir. Devrede I anahtarı kapatıldığında lamba yanmaktadır. II anahtarı kapatılıp I anahtarı açıldığında lamba öncekinden daha parlak yanmaktadır. **Buna göre**



I. İki kaynak da alternatif akım kaynağı olup K ve L'nin gerilimleri eşitse, L'nin frekansı K'den daha büyüktür.
II. İki kaynak da alternatif akım kaynağı ise L'nin gerilimi K'ninkinden büyüktür.
III. İki kaynak da doğru akım kaynağı ise L'nin gerilimi K'ninkinden büyüktür.

ifadelerinden yanlış olanı bulup ifadenin doğrusunu yazınız.

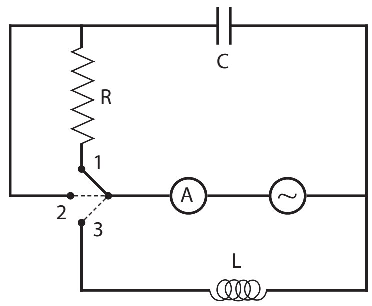
ÇÖZÜM

7. Transformatörde kullanılan demir çekirdeğin işlevi için yazılan ifadelerden doğru olanların önüne (D), yanlış olanların önüne (Y) yazınız.

( ) **I.** Bobinlerin sarılabileceği bir çubuk görevi görür.
( ) **II.** Devredeki bobinlerin ve devrenin dayanıklı olmasını sağlar.
( ) **III.** Giriş bobininde oluşan manyetik akının dolanım yaparak tamamına yakınının diğer bobinden geçmesini sağlar.
( ) **IV.** İki bobin arasında indüksiyon oluşmasını sağlar.
( ) **V.** Soğutma sağlar.

ÇÖZÜM

8. Şekildeki devre; direnç, bobin, sığaç ve ampermetre ile kurulmuştur. İndüktif reaktans ve kapasitif reaktansın eşit olduğu bu devrede ampermetrenin ölçtüğü akım; anahtar 1 konumunda iken i_1, anahtar 2 konumunda iken i_2 ve anahtar 3 konumunda iken i_3'tür.



Buna göre akım şiddetlerini karşılaştırınız.

ÇÖZÜM

9. Bir transformatörde giriş ve çıkış sarımları sırasıyla N ve 4N'dir. Transformatörün girişine 5i akım verildiğinde çıkışından i akımı alınmaktadır.

Buna göre

I. Transformatör alçaltan transformatördür.
II. Transformatörün verimi %80'dir.
III. Giriş gücü değiştirilmeden bobinlerin yeri değiştirilirse çıkış gücü daha büyük olur.

ifadelerinden yanlış olanı bulup ifadenin doğrusunu yazınız.

ÇÖZÜM

2. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARI

A **Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü/sözcükleri yazınız.**

1. Elektrik enerjisi vererek, duran kalbin yeniden çalışmasını sağlayan şok cihazı bir tür .... tır.

2. Bir bölgedeki elektrik alan çizgilerinin sıklaşması o bölgedeki .... şiddetinin arttığını gösterir.

3. Üretece bağlı paralel levhalar arasındaki uzaklık .... levhalar arasındaki elektrik alan artar.

4. Aynı tür elektrik yüküne sahip iki parçacık arasındaki uzaklık .... parçacıkların sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji azalır.

5. Üzerinden akım geçen paralel iki iletken telin birbirine uyguladığı manyetik kuvvetler .... yönlüdür.

6. Düzgün bir manyetik alana dik olarak gönderilen yüklü parçacığa etki eden kuvvet ile parçacığın............................ birbirine diktir.

7. Bir iletken tel çerçevenin içindeki manyetik akı değişiminin iletkende oluşturduğu elektrik akımına .... akımı denir.

8. Periyodik olarak yönü ve şiddeti değişen akıma .... denir.

9. Sığaç, direnç ve bobinden oluşan alternatif akım devresinde empedansın en küçük değeri aldığı duruma .... denir.

10. Sekonder bobinin sarım sayısı, primer bobinin sarım sayısından büyük olan transformatöre .... transformatör denir.

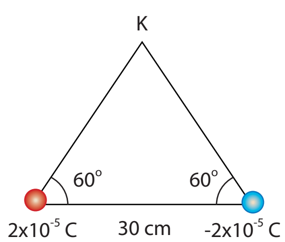
B **Aşağıdaki açık uçlu soruların cevaplarını ilgili alanlara yazınız.**

11. Yüklenen plastik bir balonun elektriksel potansiyeli 1 000 voltun üzerine çıkarılabilmektedir. Ülkemizdeki elektrik hatlarında ise 220 voltluk gerilim kullanılmaktadır. Elektriksel potansiyeli 1 000 voltun üzerinde olan balona dokunmak tehlike oluşturmazken hattaki 220 voltluk gerilim tehlike oluşturur.

Bu durumun nedenini açıklayınız.

....

12.



Eşkenar üçgenin köşelerine $2x10^{-5}$ C ve $-2x10^{-5}$ C büyüklüğünde yüke sahip noktasal kürecikler yerleştirilmiştir.

Buna göre

a) Yüklerin K noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan şiddeti kaç N/C olur?

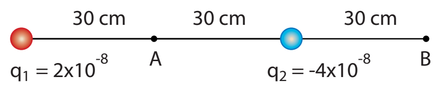
....

b) K noktasının potansiyeli kaç V olur? (sin 60° = $\frac{\sqrt{3}}{2}$, cos 60°= 0,5 ve k = $9x10^9$ $N{\cdot}m^2/C^2$ alınız.)

....

....

13. $2x10^{-8}$ C'luk q_1 yükü ve $-4x10^{-8}$ C'luk q_2 yükü yatay düzlemde sabitlenmiştir.



Buna göre

a) Şekilde verilen A ve B noktalarının elektriksel potansiyelleri kaç V olur?

....

....

....

b) q_1 ve q_2 yüklerinin elektriksel potansiyel enerjisi kaç J olur?

....

....

....

c) 10^{-5} C'luk başka bir yükü A noktasından B noktasına taşımakla yapılan iş kaç J olur?
($k = 9x10^9$ N·m^2/C^2 alınız.)

....

....

....

14. Özdeş, iletken ve paralel iki levha arasına yalıtkan malzeme konarak sığaç elde edilir. Aşağıdaki tabloda K, L ve M sığaçlarının yapısal özellikleri verilmiştir.

Sığaç	Sığacın Levhalarının Yüzey Alanı	Sığacın Levhaları Arasındaki Uzaklık	Yalıtkan Malzemenin Elektriksel Geçirgenliği
K	A	d	3ε
L	2A	d	2ε
M	2A	d	ε

Buna göre sığaçların sığa büyüklüklerini sıralayınız.

....

....

....

15. Alanı 900 cm^2 olan iletken tel çerçeve, şiddeti 0,1 T olan düzgün manyetik alanda alan çizgilerine dik konumda iken 0,03 saniyede alan çizgilerine paralel konuma getirilmektedir.

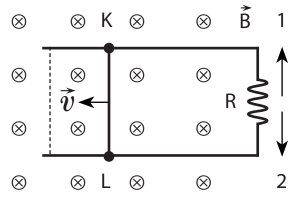
Buna göre tel çerçevede oluşan indüksiyon elektromotor kuvveti kaç volt olur?

....

....

....

16. Şiddeti 0,2 T olan düzgün $\vec{B}$ manyetik alanında bulunan iletken tel çerçevenin üzerindeki KL iletken teli çerçeve üzerinde hareket edebilmektedir. KL teli şekildeki gibi 2 cm/s'lik sabit hızla çekilmektedir.



KL telinin uzunluğu 50 cm olduğuna göre 5 ohmluk R direncinin üzerinden hangi yönde kaç amperlik indüksiyon akımı geçer?

....

....

....

....

....

17. Aşağıdaki tabloda doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) ile ilgili ifadeler verilmiştir.

İfadelerden doğru akıma ait olanları tablonun DC sütununa, alternatif akıma ait olanları AC sütununa X koyarak işaretleyiniz.

	DC	AC
Belirli zaman aralıklarında yönü sürekli değişen akımdır.		
Pil, akü ve dinamo gibi akım kaynaklardan üretilir.		
Uzaktan kumanda cihazlarının çalışmasında kullanılır.		
Pillerin şarj edilmesinde kullanılır.		
Transformatörlerle gerilimi yükseltilebilir veya alçaltılabilir.		
Üretildiği yerden uzak yerlere taşınmasında ısı kayıpları az olduğu için genellikle tercih edilir.		

18. Thomas Alva Edison ve Nikola Tesla'nın doğru akım ve alternatif akımla ilgili görüşlerini karşılaştırarak bu akımların avantaj ve dezavantajlarını yazınız.

....

....

....

....

....

....

....

19. Bir alternatif akım devresinde lamba, bobin ve sığaç bağlı iken lamba ışık vermektedir. Devreden sadece bobin çıkarıldığında lambanın parlaklığı azalmaktadır. Sadece sığaç çıkarıldığında da lamba parlaklığı azalmaktadır. Ancak bobin ve sığaç birlikte çıkarıldığında lambanın parlaklığı aynı kalmaktadır.

Buna göre

a) Bobin devreden çıkarıldığında lambanın parlaklığının azalmasının sebebi nedir?

....

....

....

....

b) Sığaç devreden çıkarıldığında lambanın parlaklığının azalmasının sebebi nedir?

....

....

....

....

c) Bobin ve sığaç birlikte devreden çıkarıldığında lambanın parlaklığının aynı kalmasının sebebi nedir?

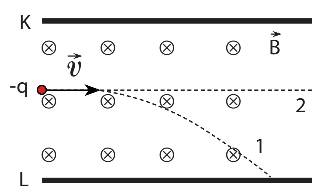
....

....

....

....

20. Yükü -q olan parçacık, iletken (+) yüklü K ve (-) yüklü L paralel levhalarının oluşturduğu E büyüklüğünde elektrik alan ile sayfa düzleminden içeri doğru B büyüklüğünde manyetik alana $\vec{v}$ hızıyla girmektedir. Parçacığın ağırlığının ihmal edildiği ortamdaki levhalar arasında 1 numaralı yörüngeyi izlemektedir.



Buna göre

a) Levhalar arasında yüke etki eden elektriksel kuvvet ile manyetik kuvvetin büyüklüğünü karşılaştırınız.

....

....

....

b) Yükün 1 numaralı yörünge yerine 2 numaralı yörüngeyi izleyebilmesi için B, E ve v büyüklükleri ne şekilde değiştirilmelidir?

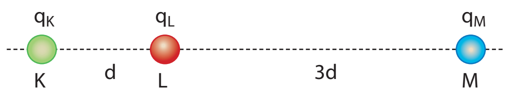
....

....

....

C **Aşağıdaki çoktan seçmeli soruları çözünüz.**

21. Yükleri q_K, q_L ve q_M olan K, L ve M cisimleri sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde şekildeki gibi tutulmaktadır.



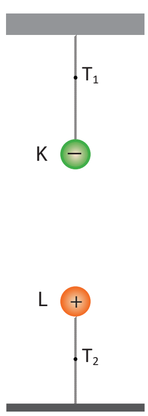
L cismi serbest bırakıldığında dengede kaldığına göre

I. L ve M cisimleri zıt cins elektrikle yüklüdür.
II. Ortamın elektriksel geçirgenliği küçültülürse Coulomb sabiti ve yükler arasındaki elektriksel kuvvetin değeri büyür.
III. $q_M = 3q_K$

ifadelerinden hangileri **<u>kesinlikle</u>** **doğrudur?**

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve II **E)** I ve III

22. Özdeş küreciklerden K (-), L (+) elektrik yüküne sahiptir. Kürecikler ağırlığı ihmal edilen yalıtkan esnemeyen iplerle aynı düşey doğrultuda olacak şekilde bağlanmıştır. Bu durumda iplerde $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetleri oluşmaktadır.



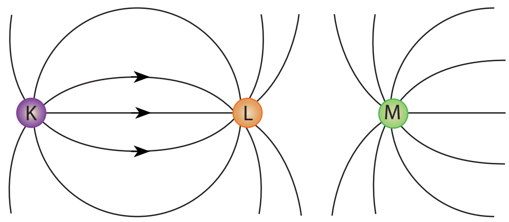
Buna göre $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü

I. K ve L küreciklerinin yük miktarı
II. Ortamın elektriksel geçirgenliği
III. Küreler arasındaki uzaklık

niceliklerinden hangilerine bağlıdır?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve II **E)** I, II ve III

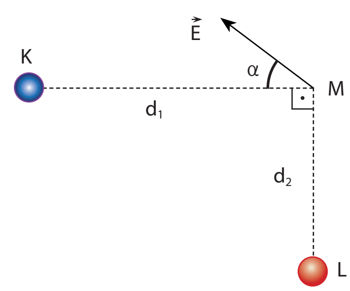
23. K, L ve M yükleri arasındaki elektrik alan çizgileri ve bazılarının yönleri çizilmiştir.



Buna göre yüklerin cinsi nedir?

	K	L	M
A)	(+)	(-)	(-)
B)	(-)	(+)	(+)
C)	(+)	(-)	(+)
D)	(+)	(+)	(+)
E)	(-)	(-)	(-)

24. Aynı düzlemde bulunan yüklü K ve L cisimlerinin M noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan $\vec{E}$'dir. α açısı 45° den küçüktür. **Buna göre**

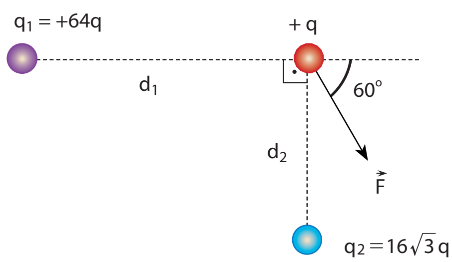


I. K ve L cisimlerinin yük işaretleri zıttır.
II. K yükü M noktasına yaklaştırılırsa α açısı küçülür.
III. K'nin yükü L'nin yükünden büyüktür.

ifadelerinden hangileri **<u>kesinlikle</u>** **doğrudur?**

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II
D) I ve III **E)** I, II ve III

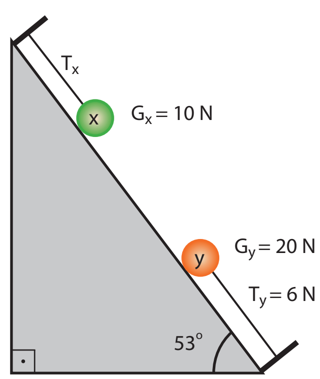
25. Yatay yalıtkan düzlemdeki q_1, q_2 ve +q yüklerinin konumları verilmiştir. +q yüküne etki eden bileşke elektriksel kuvvet şekildeki gibidir.



Buna göre yükler arasındaki uzaklıkların $\frac{d_1}{d_2}$ oranı kaçtır? (sin $60^0 = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ve cos $60^0 = \frac{1}{2}$ alınız.)

A) 1 **B)** 2 **C)** $\frac{1}{2}$ **D)** 4 **E)** $\frac{1}{4}$

26. Sürtünmelerin ihmal edildiği eğik düzlem üzerindeki x ve y cisimlerinin ağırlıkları sırayla 10 N ve 20 N'dır. Cisimler esnemeyen iplerle bağlanarak dengelenmiştir.

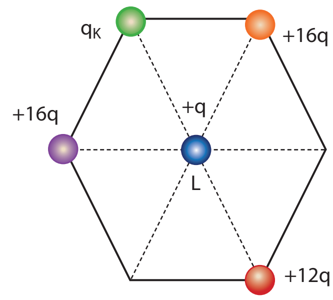


Buna göre x cisminin bağlı olduğu ipteki $\vec{T}_x$ gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

(cos $53^0 = 0{,}6$ ve sin $53^0 = 0{,}8$ alınız.)

A) 6 **B)** 8 **C)** 18 **D)** 24 **E)** 30

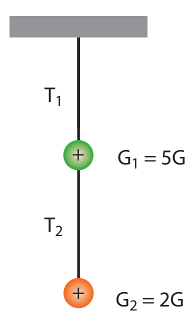
27. Sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlem üzerindeki beş yük, düzgün altıgenin dört köşesine ve L noktasına yerleştirilmiştir. L noktasındaki +q yükü, serbest bırakıldığında hareketsiz kalmaktadır.



Buna göre q_K yükü kaç q olur?

A) -4 **B)** +4 **C)** -28 **D)** 28 **E)** -44

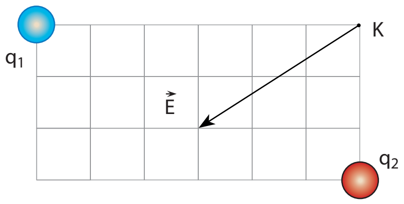
28. Ağırlıklarının büyüklüğü G cinsinden verilen (+) yüklü cisimler esnemeyen iplerle bağlanarak asılmıştır. İplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri T_1'in T_2'ye oranı $\frac{7}{3}$'tür.



Buna göre yükler arasındaki kuvvetin büyüklüğü kaç G olur?

A) 1 **B)** 2 **C)** 3 **D)** 7 **E)** 10

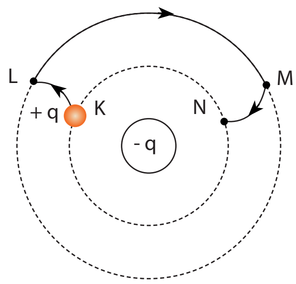
29. Yalıtılmış düzlemdeki yükler birimkareler üzerindedir. q_1 ve q_2 yüklerinin K noktasında oluşturduğu elektrik alan $\vec{E}$ 'dir.



Buna göre yüklerin büyüklükleri $\frac{q_1}{q_2}$ oranı kaçtır?

A) $\frac{1}{6}$ **B)** 6 **C)** $\frac{1}{2}$ **D)** 2 **E)** $\frac{3}{2}$

30. Şekildeki -q yükünün etrafındaki eş potansiyel yüzeylerinden iki tanesi kesikli çizgilerle gösterilmiştir. K noktasındaki +q yükü sırayla L, M ve N noktalarına oklarla gösterilen yönde taşınmıştır.



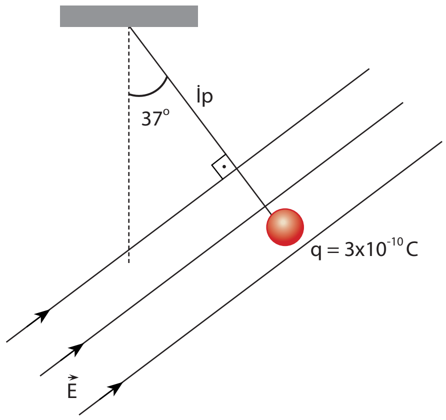
Buna göre

I. Yük, K'den L'ye taşınırken elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır.
II. Yük noktalar arasında taşınırken yapılan iş LM arasında en büyüktür.
III. Yük, M'den N'ye taşınırken elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve II **E)** II ve III

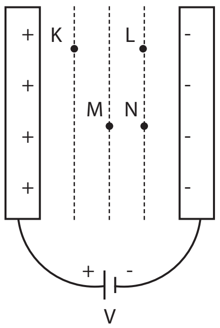
31. Ağırlığı ihmal edilen iple asılı yüklü kürecik düzgün elektrik alanda şekildeki gibi dengededir. Elektrik alan 50 N/C büyüklüğündedir.



Buna göre q yükünün ağırlığının büyüklüğü kaç N olur? (sin 37° = 0,6 ve cos 37° = 0,8 alınız.)

A) $25x10^{-9}$ **B)** $15x10^{-9}$ **C)** $12x10^{-9}$ **D)** $9x10^{-9}$ **E)** $6x10^{-9}$

32. Üretece bağlı levhalar arasındaki eş potansiyel yüzeylerden üç tanesi kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



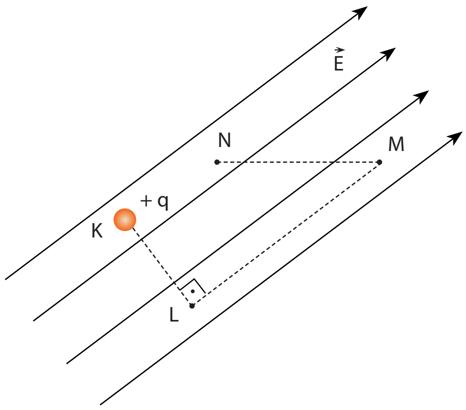
Buna göre

I. L ve N noktalarındaki elektriksel potansiyeller eşittir.
II. M ve N noktalarındaki elektriksel potansiyeller eşittir.
III. K noktasındaki elektriksel potansiyel, M noktasındakinden büyüktür.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve III **E)** I, II ve III

33. Düzgün elektrik alan içindeki +q yükü, KLMN yolunu izlemektedir.



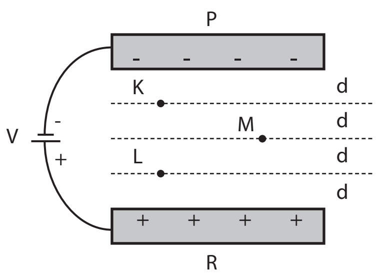
Buna göre

I. KL arasında iş yapılmaz.
II. LM arasında elektriksel kuvvetler iş yapar.
III. MN arasında elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) II ve III **E)** I, II ve III

34. P ve R paralel levhaları potansiyel farkı V olan üretece bağlıdır. K, L ve M noktaları levhalara paralel kesikli çizgiler üzerindedir. Levha ve kesikli çizgiler arasındaki uzaklıklar d olarak verilmiştir.



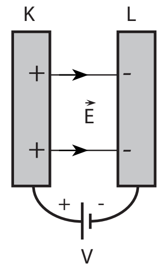
Buna göre

I. K ve M noktalarının elektriksel alan büyüklükleri birbirine eşittir.
II. K, L ve M noktalarından geçen elektrik alan çizgileri birbirine paraleldir.
III. P levhası üretecin (+) ucuna R (-) ucuna bağlanırsa K noktasının elektriksel potansiyeli en büyük olur.

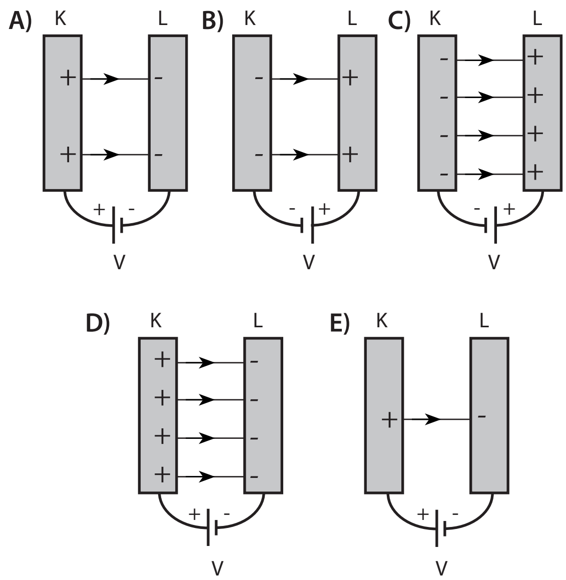
ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve III **E)** I, II ve III

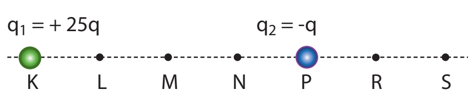
35. Özdeş levhalardan oluşan sığaç V potansiyel farkı altında yüklenmiştir.



Buna göre levhalar arasındaki uzaklık yarıya indirilirse alan çizgileri aşağıdakilerden hangisi gibi olur?



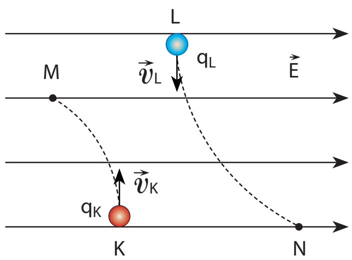
36. Doğru üzerindeki ardışık noktalar arasındaki uzaklıklar eşittir. K noktasına q_1, P noktasına q_2 yükü yerleştirilmiştir.



Buna göre hangi noktada yüklü cisimlerin oluşturduğu bileşke elektrik alan sıfırdır?

A) L **B)** M **C)** N **D)** R **E)** S

37. Hava sürtünmelerinin ihmal edildiği ortamda düzgün bir elektrik alan vardır. Kütlesi önemsenmeyen K ve L parçacıkları elektrik alana aynı anda ve dik olarak girmektedir. Hız büyüklükleri ϑ_K ve ϑ_L olan parçacıklar kesikli çizgilerle gösterilen yörüngeleri izleyerek aynı anda M ve N noktalarına ulaşmaktadır.



Buna göre

I. q_K (-), q_L (+)yüklüdür.

II. q_L yükü N noktasından alana dik olarak fırlatılırsa alanı L noktasından terk eder.

III. $\vartheta_L > \vartheta_K$'dir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II

D) I ve III **E)** I, II ve III

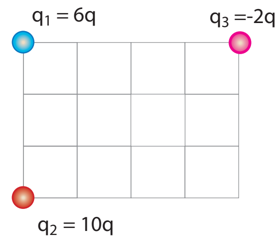
38. Sığası C olan bir sığaç, potansiyel farkı V olan üretece bağlandığında sığacın yükü q olmaktadır. Sonrasında sığaçta bir değişiklik yapılmadan yalnız üretecin potansiyel farkı 3 katına çıkarılmaktadır.

Buna göre sığacın sığası öncekine göre nasıl değişir?

A) Değişmez. **B)** 3 katına çıkar. **C)** $\frac{1}{3}$ katına çıkar.

D) 4 katına çıkar. **E)** $\frac{1}{4}$ katına çıkar.

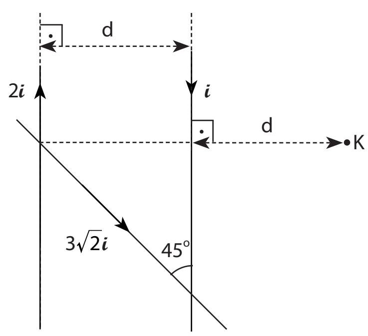
39. Yalıtılmış düzlemdeki yükler birimkareler üzerindedir. q_1 yükünün q_2 yükünden dolayı sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji 20 J'dür.



Buna göre üç yükün toplam elektriksel potansiyel enerjisi kaç J olur?

A) 7 **B)** 13 **C)** 24 **D)** 27 **E)** 28

40. Sayfa düzleminde bulunan düz iletken tellerden şekildeki yönlerde i, $2i$ ve $3\sqrt{2}\,i$ şiddetinde akımlar geçmektedir. Üzerinden i akımı geçen telin K noktasında oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}$ olmaktadır.

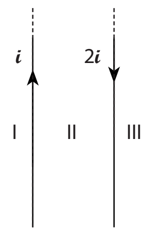


Buna göre tellerin K noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan kaç $\vec{B}$ olur?

(sin 45° = cos 45° = $\frac{\sqrt{2}}{2}$ alınız.)

A) 1 **B)** -1 **C)** 2 **D)** -3 **E)** 3

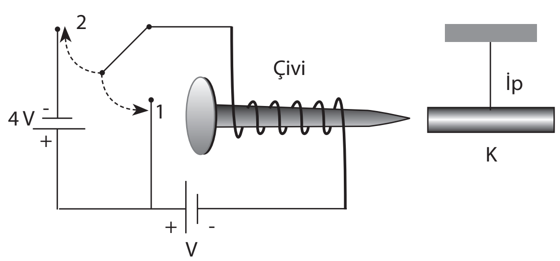
41. Sayfa düzlemindeki paralel tellerden şekildeki yönlerde i ve $2i$ şiddetinde akımlar geçmektedir.



Yerin manyetik alanı ihmal edildiğine göre hangi bölgelerde bileşke manyetik alan sıfır olur?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

42. Potansiyel farkları V ve 4V olan üreteçler ile çivi, anahtar ve iletken teller kullanılarak şekildeki devre kurulmuş ve K cismi çivinin yanına asılmıştır.



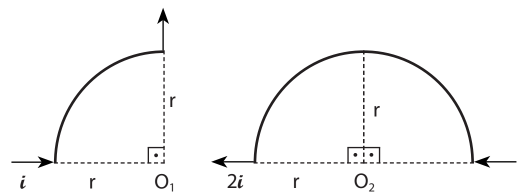
Anahtar 1 konumuna getirildiğinde çivinin K cismini çektiği ve 2 konumuna getirildiğinde ittiği gözlendiğine göre

I. Akım geçen sarımların merkez ekseninde manyetik alan oluşur.
II. Akımın yönü değişirse sarımların merkez eksenindeki manyetik alanın yönü de değişir.
III. K çubuğu mıknatıstır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** I, II ve III

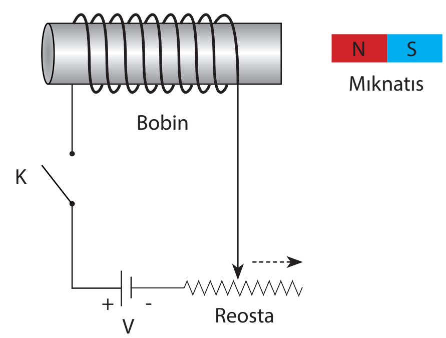
43. Şekildeki gibi i akımı geçen r yarıçaplı çembersel telin merkezinde oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}_1$, $2i$ akımı geçen r yarıçaplı telin merkezinde oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}_2$'dir.



Buna göre $\dfrac{\vec{B}_1}{\vec{B}_2}$ oranı kaçtır?

A) $\frac{1}{4}$ **B)** $-\frac{1}{4}$ **C)** $\frac{1}{2}$ **D)** -2 **E)** 4

44. Üreteç, bobin, reosta ve anahtar ile oluşturulan elektrik devresinin yakınında şekildeki gibi bir mıknatıs bulunmaktadır.



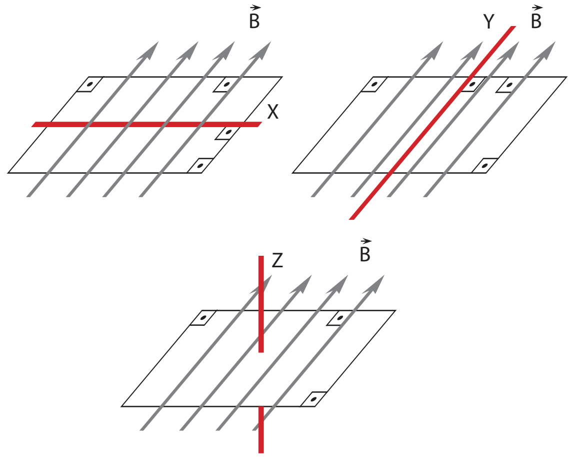
Buna göre

I. Anahtar açıkken mıknatıs bobine yaklaştırılırsa bobin üzerinde indüksiyon akımı oluşur.
II. Devredeki K anahtarı kapatılırsa bobin üzerinde öz-indüksiyon akımı oluşur.
III. Devredeki K anahtarı kapatılıp reostanın sürgüsü ok yönünde çekilirse bobin üzerinde öz-indüksiyon akımı oluşur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

45. Sayfa düzlemine paralel $\vec{B}$ manyetik alanının içerisine sayfa düzlemine paralel X ve Y telleri ile sayfa düzlemine dik Z teli şekildeki gibi yerleştirilmektedir.

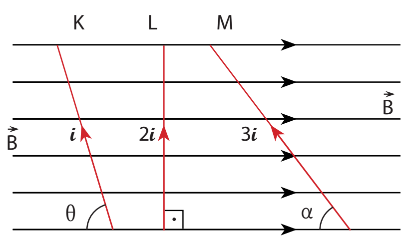


Buna göre tellerden elektrik akımı geçirilirse hangi tellere manyetik kuvvet etki eder?

A) Yalnız X **B)** Yalnız Y **C)** Yalnız Z

D) X ve Z **E)** Y ve Z

46. Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanında bulunan K, L ve M tellerinden sırasıyla i, $2i$ ve $3i$ şiddetinde akımlar geçmektedir. Tellere etki eden manyetik kuvvetlerin büyüklükleri F_K, F_L ve F_M'dir.

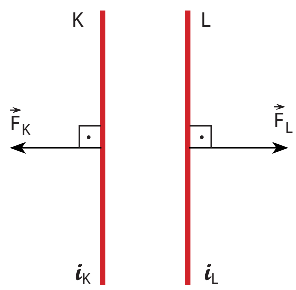


Teller arasındaki etkileşim ihmal edildiğine ve $\alpha < \theta$ olduğuna göre F_K, F_L ve F_M arasındaki büyüklük sıralaması ne olur?

A) $F_K > F_L > F_M$ **B)** $F_M > F_L > F_K$ **C)** $F_K = F_L > F_M$

D) $F_K > F_L = F_M$ **E)** $F_K = F_L = F_M$

47. Sayfa düzleminde bulunan paralel K ve L tellerinin üzerinden i_K ve i_L akımları geçmektedir. K telinin L teline uyguladığı manyetik kuvvet $\vec{F}_L$, L telinin K teline uyguladığı manyetik kuvvet ise $\vec{F}_K$ olmaktadır.



Buna göre

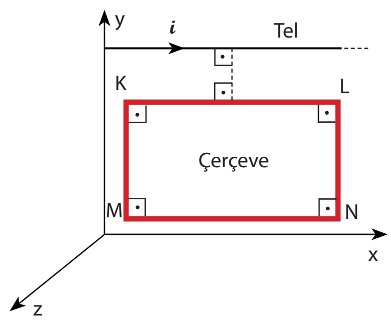
I. i_K ve i_L akımları aynı yönlüdür.
II. i_K ve i_L akımları zıt yönlüdür.
III. F_K ve F_L kuvvetlerinin büyüklükleri eşittir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III

D) I ve III **E)** II ve III

48. xyz koordinat sisteminde üzerinden akım geçen düz iletken tel ve çerçeve xy düzlemine şekildeki gibi yerleştirilmiştir.



Buna göre

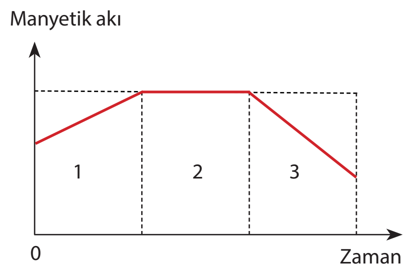
I. Çerçeve x ekseni etrafında döndürülürse
II. Çerçeve y ekseni etrafında döndürülürse
III. Çerçeve +z yönünde hareket ettirilirse

hangi durumlarda çerçeveden geçen manyetik akı değişir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III

D) I ve III **E)** I, II ve III

49. Bir iletken tel halkanın içinden geçen manyetik akının zamanla değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre

I. 1. bölgede halkada indüksiyon akımı oluşur.
II. 2. bölgede halkada indüksiyon akımı oluşmaz.
III. 1. ve 3. bölgelerde halkada aynı yönde indüksiyon akımı oluşur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** II ve III

50. Sığaçlar günlük hayatta pek çok alanda kullanılmaktadır.

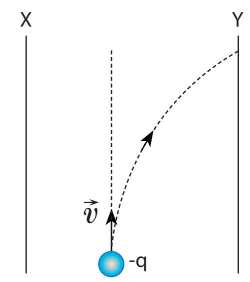
Buna göre

I. Sığaçlar hızlı şekilde yük depoladığı gibi akım kesildiğinde devreye hızlı yük akışı sağlar.
II. Bir sığaçta yumuşak yalıtkan kullanılmasının amacı, gerektiğinde sığacın yükünü arttırabilmektir.
III. Sığaçların tükenme süreleri, yapısına ve bulunduğu devreye göre farklılık gösterir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve III **E)** I, II ve III

51. Sayfa düzleminde bulunan paralel X ve Y tellerinin üzerinden elektrik akımı geçmektedir. Teller arasındaki bölgeye $\vec{v}$ hızıyla fırlatılan -q yüklü parçacık şekildeki yörüngeyi izlemektedir.



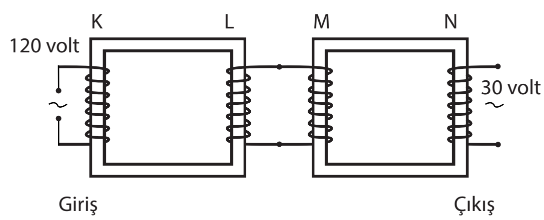
Buna göre

I. Tellerden aynı yönde akım geçmektedir.
II. Tellerden zıt yönde akım geçmektedir.
III. Teller arasında iken yüklü parçacığın hızının büyüklüğü artar.

ifadelerinden hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** I, II ve III

52. Şekildeki gibi bağlanmış transformatörlerin girişine 120 volt alternatif gerilim uygulandığında çıkıştan 30 volt alternatif gerilim elde edilmiştir.



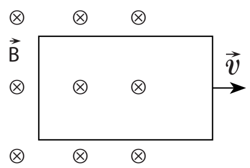
Buna göre

I. Transformatörlerden en az birisi gerilim düşürücüdür.
II. K'nin sarım sayısı, L'den büyüktür.
III. M'nin sarım sayısı, N'den büyüktür.

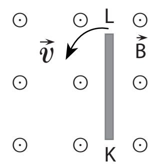
ifadelerinden hangileri <u>kesinlikle</u> doğrudur?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I, II ve III

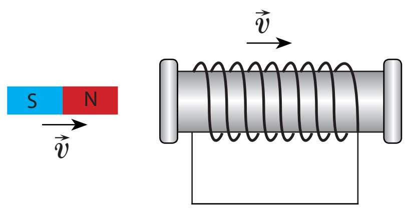
53. Şekil I'de düzgün manyetik alan içindeki çerçeve $\vec{v}$ hızıyla alan dışına çekilmektedir. Şekil II'de düzgün manyetik alandaki KL iletken çubuğu K noktası etrafında döndürülmektedir. Şekil III'te ise çubuk mıknatıs ve bobin $\vec{v}$ hızıyla hareket ettirilmektedir.



Şekil I



Şekil II



Şekil III

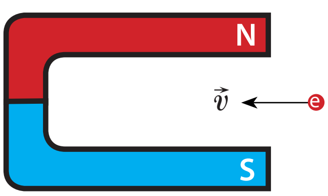
Buna göre

I. İletken tel çerçevede indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur.
II. KL çubuğunda indüksiyon elektromotor kuvveti oluşmaz.
III. Bobinde indüksiyon elektromotor kuvveti oluşur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II
D) I ve III **E)** I, II ve III

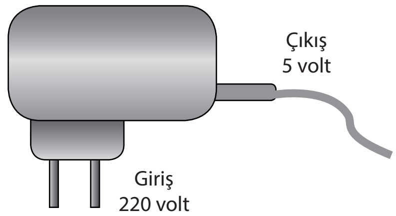
54. Sayfa düzleminde bulunan U mıknatısın kutupları arasına sayfa düzlemi içinde $\vec{v}$ hızı ile bir elektron fırlatılmıştır.



Buna göre elektrona etki eden elektromanyetik kuvvetin yönü için aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

A) N'den S'ye doğrudur.
B) S'den N'ye doğrudur.
C) $\vec{v}$ ile aynı yöndedir.
D) Sayfa düzlemine dik ve dışarı doğrudur.
E) Sayfa düzlemine dik ve içeri doğrudur.

55. İçinde ideal transformatör bulunan şarj cihazının üzerinde giriş (input) ve çıkış (output) gerilimleri verilmiştir.



Buna göre

I. Transformatörün sarım sayıları oranı $\frac{N_{giriş}}{N_{çıkış}} = 44$ olur.
II. Transformatör gerilim düşürücü olarak kullanılmıştır.
III. Transformatörün girişindeki akım, çıkışındaki akımına eşittir.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III
D) I ve II **E)** I ve III

56. Transformatörler gerilimi değiştirmek amacıyla kullanılır.

Buna göre

I. 16 A'lik şehir şebekesine 5A'lik akımla çalışan cihaz bağlanmak istendiğinde
II. Elektrik santralinde üretilen elektrik uzak bir şehre gönderilirken
III. 110 V gerilim kullanan bir ülkeye göre yapılmış cihaz, ülkemizdeki şebekeye bağlandığında

işlemlerinden hangilerinde gerilim yükseltici bir transformatör kullanılmalıdır?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** I ve III
D) II ve III **E)** I, II ve III

CEVAP ANAHTARI

1. ÜNİTE ALIŞTIRMA SORULARININ CEVAPLARI					
1	$\vec{C} = \vec{F} \rightarrow \vec{C} = -\vec{F}$ $\vec{B} = -2\vec{G} \rightarrow \vec{B} = 2\vec{G}$ $\vec{B} = \vec{E} \rightarrow \vec{B} = -\vec{E}$ $\vec{A} = 2\vec{G} \rightarrow \vec{A} = -2\vec{G}$	20	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	39	Öğrencinin çizim yapması beklenir.
2	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	21	$\frac{2}{5}$	40	Öğrencinin çizim yapması beklenir.
3	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	22	**a)** 8 N **b)** 8 N	41	Öğrencinin çizim yapması beklenir.
4	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	23	24 N	42	**a)** Cisimler sabit ivmeli hareket yapar ve hızı aynı sürede aynı büyüklükte değişir. Cisimler aynı hızla yere çarpar. **b)** Kutuplarda ivme daha büyük olduğundan aynı süredeki hız değişimi daha büyük olur. Cisimler aynı hızla ve daha kısa sürede yere çarpar.
5	$2\sqrt{5}$, 7	24	5	43	**a)** 70 m **b)** 35 m
6	$2\sqrt{2}$	25	5 N	44	75 m
7	$F_2(4,2)$ $F_3(2,0)$ $F_4(0,-2)$ $F_5(-2,-2)$ R(3,1)	26	5	45	**a)** 45 **b)** Öğrencinin çizim yapması beklenir.
8	Doğrultu: -x, +x Yön: +x Başlangıç noktası: C Hız şiddeti: 80 km/h	27	$\frac{20}{17}$	46	**a)** 30 m/s **b)** Öğrencinin çizim yapması beklenir.
9	-10 m/s	28	24 N	47	**a)** Öğrencinin çizim yapması beklenir. **b)** Öğrencinin çizim yapması beklenir.
10	20 m/s K aracının yönünde	29	640 N	48	**a)** 130 m/s **b)** 800 m
11	v_{KM} = 18 m/s v_{KM} = 10 m/s	30	$\frac{5}{4}$	49	100 m
12	$\frac{10}{3}$ m/s	31	15 m/s	50	**a)** 14 s **b)** -70 m/s **c)** 30 m/s
13	**a)** Sıfır **b)** Geriye doğru **c)** İleriye doğru	32	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	51	Artardı.
14	**a)** Doğuya **b)** İkisi de doğuya, Melis daha hızlı **c)** Zıt yönde, Melis daha hızlı	33	**a)** 45 m/s **b)** 3 m/s^2 **c)** 27 m/s	52	**a)** Yatay doğrultudaki hareketi sabit hızlıdır. **b)** Hareket ivmeli olduğundan eşit değildir. **c)** v_0 hızı arttırılmalıdır.
15	2 m/s	34	**a)** 460 **b)** 12 **c)** Öğrencinin çizim yapması beklenir.	53	80 m
16	**a)** 4 m/s **b)** 30 m **c)** 50 m **ç)** 40 m	35	7 m/s	54	**a)** Öğrencinin çizim yapması beklenir. **b)** 12 s **c)** 480 m
17	**a)** L'nin sağında **b)** L'noktasında **c)** L'nin solunda	36	**a)** 6 m/s^2 **b)** 5 m/s^2	55	**a)** 4 s **b)** 20 m **c)** 20 m/s **ç)** 80 m
18	10 N 13 N 2 N 5 N	37	25 m/s	56	**a)** 3 s **b)** 125 m **c)** 8 s **ç)** 320 m
19	3	38	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	57	**a)** 2 s **b)** 50 m

1. ÜNİTE ALIŞTIRMA SORULARININ CEVAPLARI

58	Geminin üstünde, helikopterin hareket yönünün tersine doğru ve helikoptere göre v büyüklüğünde hızla yatay olarak atılmalıdır.	**77**	$2v$ hızıyla geriye döner.	**96**	L
59	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	**78**	**a)** $v_L > v_K > v_M$ **b)** 1	**97**	Kürek, el arabası vb. iş kolaylığı sağlar. Hareketli makarada kuvvetten kazanç da sağlanır.
60	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	**79**	4 noktasında	**98**	Asansörün taşınmasında sabit ve hareketli makara kullanılabilmektedir. Her ikisi de iş kolaylığı sağlar. Hareketli makarada kuvvetten kazanç da sağlanır.
61	100 J	**80**	$\frac{10}{\sqrt{2}}$ m/s, 45°	**99**	Vinçlerde kullanılır. İş kolaylığı ve kuvvetten kazanç sağlanır.
62	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	**81**	3,5.x	**100**	$\frac{13}{3}$
63	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	**82**	**a)** $\frac{14}{10}$ **b)** $\frac{14}{9}$	**101**	75 N
64	3,5 m	**83**	3F · d, sayfa düzleminden içeriye doğru	**102**	12 N
65	1,8 m	**84**	$\vec{F}_1$	**103**	Bir kenarı alçak, diğer kenarı yüksek düzlemin oluşturduğu tüm rampalar. Engelli rampaları gibi iş kolaylığı ve kuvvetten kazanç sağlanır.
66	$\frac{5}{9}$	**85**	Torkunun büyük olması için	**104**	Anahtar, tornavida vb. iş kolaylığı ve kuvvetten kazanç sağlanır.
67	**a)** 30 m **b)** $10\sqrt{2}$ m/s **c)** 20 m	**86**	Kamyon tekerleklerindeki somunların büyük olmasından dolayı torku arttırmak amacıyla.	**105**	Bisikletle, mekanik saatlerde vb. iş kolaylığı, kuvvetten kazanç, kuvvet aktarımı sağlanır.
68	**a)** 10 J **b)** 5 J **c)** 20 J	**87**	Makas uçlarına büyük kuvvet uygulamak için	**106**	1 yönünde 1 tur.
69	**a)** $\frac{1}{6}$ **b)** $\frac{3}{2}$	**88**	Şekil I ve Şekil III	**107**	Dikiş makinelerinde, vinçlerde vb. iş kolaylığı, kuvvetten kazanç, kuvvet aktarımı sağlanır.
70	60 kg·m/s aşağıya doğru	**89**	Şekil I: P ve 5F Şekil II: P ve 3F	**108**	10π · r
71	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	**90**	$G_1 > G_2 > G_3$	**109**	$\frac{1}{3}$
72	**a)** 3P ve 4P **b)** 9E ve 16E	**91**	$F_2 > F_1 > F_3$	**110**	Mobilyacılıkta, otomobillerde vb. iki yüzeyi birbirine tutturmakta kullanılır.
73	3	**92**	$\frac{1}{3}$	**111**	**a)** $\frac{5}{6}$ **b)** $\frac{9}{10}$ **c)** $\frac{4}{5}$ **d)** 1
74	Esnek Esnek olmayan Esnek olmayan Esnek ya da esnek olmayan Esnek	**93**	Şekil III, Şekil I ve Şekil II		
75	$v'_K = \frac{9}{5}$ $v'_L = \frac{14}{5}$	**94**	$\frac{r}{3}$		
76	30 cm	**95**	1,5 cm		

2. ÜNİTE ALIŞTIRMA SORULARININ CEVAPLARI

1	**a)** $\frac{F}{3}$ **b)** Ortamın elektriksel geçirgenliği büyür, Coulomb sabiti azalır, kuvvet azalır.	**20**	**a)** $V_K = V_L > V_M > V_N$ **b)** $E_K = E_L = E_M = E_N$ **c)** Elektrik alan artar. Potansiyel farkı değişmez.	**39**	$\frac{9}{2}$	**58**	3 V
2	$\frac{d}{7}$	**21**	**a)** Öğrencinin çizim yapması beklenir. **b)** K(-), L(nötr), M(+)	**40**	+x yönünde, 6 A	**59**	**I-** Anlık akım değişimini **II-** Sürekli akım değişimi
3	$\frac{1}{3}$	**22**	**a)** d azaltılmalıdır. **b)** V arttırılmalıdır.	**41**	Şekil I'de sağa Şekil II'de aşağı	**60**	Protonun değişmez, elektronun artar.
4	$1x10^{-2}$ N	**23**	Küçük ve büyük su depolarına su doldurulduğunda büyük su deposunda daha çok su birikir. Küçük su deposu küçük sığaca, büyük su deposu büyük sığaca benzetilebilir.	**42**	Değişmez - Değişmez Değişmez - Artar Değişmez - Azalır Değişmez - Azalır Değişir - Değişmez	**61**	**a)** Elektriksel kuvvet yukarıya, manyetik kuvvet aşağıya **b)** Manyetik kuvvet büyüktür.
5	5	**24**	**a)** $\frac{c}{8}$ **b)** $\frac{q}{8}$	**43**	$\frac{8}{3}$	**62**	Şekil I ve Şekil III'te
6	$\sqrt{3}$	**25**	Levhaların alanı arttırılabilir. Elektriksel geçirgenliği büyük yalıtkan kullanılabilir.Levhalar arasındaki uzaklık azaltılabilir.	**44**	$12x10^{-3}$ T	**63**	Kanada'da kullanılan potansiyel farkına göre ayarlanmış olabilir.
7	**a)** K ve M **b)** Öğrencinin çizim yapması beklenir.	**26**	**a)** Artar **b)** Artar	**45**	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	**64**	I, II ve III
8	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	**27**	Sığacın levhaları birbirine yaklaşır ve sığası büyür.	**46**	$F_3 > F_2 > F_1$	**65**	2
9	**a)** K(-), L(-) **b)** $\frac{5}{9}$	**28**	Dış kuvvetlerin yaptığı iş sığaçta enerji olarak depolanır. Birim yük başına yapılan iş (potansiyel farkı) artar.	**47**	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	**66**	AC DC x - - x - x - x - x x - x - - x
10	**a)** 6 **b)** 3	**29**	Sığaç devreye ani yük akışı sağladığı için tehlikeli olabilir.	**48**	Değişmez - Artar Değişmez - Azalır Değişir - Değişmez	**67**	Alternatör (AC), Dinamo (DC), Güneş Pili (DC), Pil ve akü (DC), Temik santral (AC), Hidroelektrik santrali (AC)
11	$27x10^{4}$ V	**30**	R noktasında artar, P noktasında azalır.	**49**	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	**68**	**I-** DC **II-** DC **III-** AC **IV-** DC **V-** AC ve DC
12	2 V	**31**	Değişmez Artar Değişmez Azalır Değişir Değişmez	**50**	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	**69**	Alternatif akım ve geriliminin etkin değeri doğru akım ve doğru akımın gerilimine eşittir.
13	-6q	**32**	K(⊗), L(⊙), M(⊗), N(↙), P(⊙ ve →), R(⊙ ve ←)	**51**	Şekil I'de aşağı, Şekil II'de yukarı, Şekil III'te yukarı, Şekil IV'te dışa	**70**	**a)** Şekil II'de **b)** Değişiklik olmaz
14	$V_M > V_L > V_K$	**33**	$4x10^{-6}$ T sayfa düzleminden içe.	**52**	Azalır - Değiştirmez Artar - Değiştirmez Artar - Değiştirmez Değiştirmez - Değişirir	**71**	Kapasitif reaktansı azaltacağından yüksek frekanslı sinyaller geçer ve tiz ses duyulur. İndüktif reaktansı azaltacağından düşük frekanslı sinyaller geçer ve pes ses duyulur.
15	**a)** KL **b)** MN ve NP **c)** LM	**34**	+x yönünde, 4A	**53**	K(+), L(nötr), M(-)	**72**	1 - 3, 2 - 5, 3 - 4, 4 - 1, 5 - 6, 6 - 2
16	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	**35**	$\sqrt{2}$	**54**	K(3), L(3), M(2), N(3)	**73**	II ve III
17	**a)** Sıfır **b)** Sıfırdır. İki noktanın enerjisi aynı olduğundan iş yapılmaz.	**36**	$\frac{3}{2}$	**55**	1 Wb	**74**	$i_s = \frac{3}{2}$ $V_s = 200$ V
18	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	**37**	Yarım halkanın -z, çeyrek halkanın -x	**56**	2	**75**	**a)** 5N **b)** $V_2 > V_1 > V_3$
19	Şekil I	**38**	Değişmez Azalır Değişmez Azalır Değişir Değişmez	**57**	Değişmez - Oluşmaz - Oluşmaz Azalır - Oluşur-1 Artar - Oluşur - 2		

1. ÜNİTE BÖLÜM SONU SORULARININ CEVAPLARI

1. BÖLÜM		2. BÖLÜM		3. BÖLÜM		4. BÖLÜM		5. BÖLÜM	
1	III – IV	1	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	1	5 m/s^2	1	500 m	1	**a)** 2 s **b)** Zemine 60 m Duvara 40 m
2	II	2	4 m/s	2	5 000 N	2	6	2	100 m
3	$\sqrt{19}$	3	Otobüse göre 1 m/s Yere göre 11 m/s	3	12 N	3	**a)** 35 m/s **b)** 3 m/s^2	3	$\frac{1}{6}$
4	(0, -3)	4	**a)** 5 m/s **b)** 1 m/s **c)** –x yönünde 2 m/s	4	**a)** 6 m/s^2 **b)** 2 m/s^2	4	**a)** $t_1 > t_2 > t_3$ **b)** 5	4	**a)** 4 s **b)** 80 m **c)** $10\sqrt{10}$ m/s
5	$2\sqrt{2}$ F	5	**a)** $\sqrt{10}$ m/s **b)** 10 s c) 10 m	5	**a)** 10 N **b)** 5 m/s^2	5	40 m/s	5	25°
6	10 N	6	20 km/h	6	3 kg	6	$a_K = 5$ m/s^2 $a_P = \frac{5}{4}$ m/s^2	6	**a)** 300 m **b)** 60 m
7	$F_1 > F_3 > F_2$	7	Hareketsiz olduğunu söyler.	7	**a)** 0,5 m/s^2 **b)** $\frac{55}{2}$ N **c)** $\frac{21}{2}$ N	7	K küresi	7	135 m
8	a) $-\vec{F_3}$ b) $\vec{F_3}$ c) Hareket etmez.	8	100 km/h	8	**a)** 5 m/s^2 **b)** 15 N	8	180 m	8	30 m/s
9	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	9	5 m/s	9	**a)** 2 m/s^2 **b)** $T_1 = 6$ N $T_2 = 16$ N				
10	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	10	Süre değişmez. Uzaklık azalır.						

6. BÖLÜM		7. BÖLÜM		8. BÖLÜM		9. BÖLÜM		10. BÖLÜM	
1	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	1	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	1	15 N·m	1	T_{ip} artar, T_{yay} değişmez.	1	30 F
2	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	2	500 N	2	1	2	T_1 ve T_2 artar, T_3 değişmez.	2	**a)** 1 yönünde 2 tur **b)** $4\pi \cdot r$ kadar aşağıya iner.
3	**a)** $\frac{1}{4}$ **b)** M ve N'nin orta noktasına	3	14 s	3	$F_3 > F_2 > F_1$	3	$T_1 > T_3 > T_2$	3	$\frac{7}{2}$
4	$\frac{3F}{2}$	4	**a)** 1 **b)** $\frac{9}{10}$	4	$\sqrt{2}$	4	$\frac{3}{5}$	4	2G
5	**a)** 100 J **b)** – 50 J **c)** – 50 J **d)** 0	5	$\frac{1}{5}$	5	$\tau_M > \tau_L = \tau_P > \tau_N > \tau_K$	5	$\frac{8}{5}$	5	h arttırılmalı; l, F ve P azaltılmalı
6	80 N/m	6	$\mathcal{V}'_K = -6$ m/s $\mathcal{V}'_L =$ 3 m/s	6	3 N.m	6	Y ve Z'nin ortasından	6	$\frac{1}{6}$
7	$\frac{3}{4}$	7	$\frac{4}{9}$	7	$F_3 > F_2 > F_1$	7	$G_M > G_K = G_L$	7	**a)** 40 N **b)** 5 tur **c)** $\frac{4}{5}$
8	$\frac{1}{3}$	8	İlk hızı yönünde $\frac{5\mathcal{V}}{2}$	8	24 N	8	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	8	$\frac{1}{4}$

1. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARININ CEVAPLARI

1	azalır	10	ivmesi	19	10 m/s^2	28	A	37	A	46	D	55	C
2	bağıl hareket	11	limit hıza	20	6 m/s^2	29	A	38	D	47	A	56	E
3	çekim ivmesine	12	Canan DAĞDEVİREN	21	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	30	C	39	C	48	B	57	B
4	itme	13	$10\sqrt{5}$ m/s	22	9/16	31	A	40	A	49	C	58	C
5	torku	14	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	23	8 m/s	32	B	41	C	50	E	59	C
6	tork	15	I, II ve III	24	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	33	D	42	C	51	A	60	D
7	kütle merkezi	16	batıya, 3 m/s	25	B	34	B	43	E	52	C	61	C
8	basit makine	17	-4 m/s	26	D	35	D	44	C	53	A		
9	enerjiden	18	4 m/s^2	27	A	36	B	45	E	54	D		

2. ÜNİTE BÖLÜM SONU SORULARININ CEVAPLARI

1. BÖLÜM		2. BÖLÜM		3. BÖLÜM		4. BÖLÜM		5. ve 6. BÖLÜM	
1	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	1	30 J	1	Öğrencinin çizim yapması beklenir.	1	K ve M'de azalır, L'de artar.	1	Öğrencinin yorum yapması beklenir.
2	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	2	$5x10^{5}$ V	2	C azalır, q değişmez ve V artar.	2	$\frac{2}{3}$	2	K doğru akım kaynağı, L alternatif akım kaynağıdır.
3	**a)** 3G **b)** 4G **c)** T küçülür.	3	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	3	**a)** $V_K > V_L = V_M > V_N$ **b)** $E_K = E_L = E_M = E_N$ **c)** E azalır, V değişmez.	3	-2B	3	I ve III
4	$\frac{1}{2}$	4	6 V	4	**a)** artar **b)** değişmez **c)** artar	4	$-\frac{4}{3}$	4	D, D, D, D ve Y
5	$T_2 > T_1 = T_3$	5	**a)** 0 **b)** 20 V	5	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	5	$\sqrt{3}$	5	Öğrencinin yorum yapması beklenir.
6	**a)** q_1 (-) ve q_2 (+) yüklü olup eşit büyüklüktedir. **b)** $F_M > F_N > F_L > F_K$	6	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	6	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	6	8×10^{-4} Wb	6	Y, D ve D
7	-8	7	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	7	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	7	4 ve 5	7	D, D, D, D ve D
8	3	8	$5x10^{5}$ V	8	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	8	Her ikisinde de 1 yönünde	8	$i_2 = i_3 > i_1$
		9	1	9	Öğrencinin yorum yapması beklenir.			9	Y, D ve Y
				10	**a)** 5 **b)** 1				

2. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME SORULARININ CEVAPLARI

1	sığaç	10	yükseltici	19	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	28	A	37	D	46	B	55	D
2	elektrik alan	11	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	20	**a)** $F_{manyetik} > F_{elektriksel}$ **b)** B azaltılmalı, E arttırılmalı, V azaltılmalı	29	B	38	A	47	E	56	E
3	azalırsa	12	**a)** $2x10^{-6}$ N/C **b)** sıfır	21	B	30	A	39	B	48	E		
4	artarsa	13	**a)** $V_A = -600$ V, $V_B = -1\,000$ V **b)** $-12x10^{-6}$ J **c)** $-4x10^{-3}$ J	22	E	31	A	40	E	49	C		
5	zıt	14	$C_L > C_K > C_M$	23	A	32	D	41	A	50	E		
6	hızı	15	0,3 V	24	C	33	E	42	E	51	E		
7	indüksiyon	16	1 yönünde, $4x10^{-4}$ A	25	B	34	E	43	B	52	A		
8	alternatif akım	17	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	26	E	35	D	44	D	53	A		
9	rezonans hâli	18	Öğrencinin yorum yapması beklenir.	27	A	36	D	45	D	54	E		

SÖZLÜK

A

açıortay : Bir açıyı, ölçüleri birbirine eşit olan iki açısal bölgeye ayıran doğru parçası.
akım makarası : İçinden elektrik akımı geçebilen yalıtılmış tel ile bu telin sarılı bulunduğu silindirden oluşan aygıt, bobin.
akışkan : Sürtünme kuvvetlerini yenerek yer çekimi etkisi ile akma özelliği gösteren gaz, sıvı ve ince toz hâlindeki maddeler için kullanılan genel terim.
akkor : Işık saçacak beyazlığa varıncaya değin ısıtılmış olan.
aktarım : Enerjiyi ya da hareketi bir yerden başka bir yere geçirme.
akü : Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depo eden, istenildiğinde bunu elektrik enerjisi olarak veren cihaz, akımtoplar, akümülatör.
alternatör : Dalgalı elektrik akımı veren üreteç.
alzaymır : Alois Alzheimer tarafından tanımlanan, ilerleyen yaşta ortaya çıkan, hatırlamada güçlük ve bazı yetilerde bozulma ile ilişkilendirilen hastalık.
amfi : Alçak veya yüksek frekanslı akımların gerilimini, şiddetini veya gücünü arttırmaya yarayan araç, yükselteç, amplifikatör.
amortisör : Motorlu araçlarda sarsıntı, sallantı vb. hareketleri en aza indiren, yayların gereksiz hareketlerini gidermeye yarayan düzen.
ardışık : Birbiri ardından gelen, mütevali.
atlama beygiri : Yüksekliği değişik ölçülere ayarlanabilen ve atlamalar için kullanılan beden eğitimi aracı.
atlama sırığı : Atletizmde belli bir yüksekliğe konmuş çıtayı aşmak için kullanılan sırık.
atomik : Atomlarla ilgili olan, atomal.
avantaj : Üstünlük.

B

bağıl : Kendine özgü bir kımıldanışı olduğu hâlde başka bir cisme uyarak sürüklenen cismin görünürdeki kımıldanışının niteliği, görece.
batarya : Pil, akü, üreteç.
bijon anahtarı : Araba tekerleklerinin somunlarını sökmek için kullanılan alet.
bilardo : Çuha kaplı bir masa üzerinde, fil dişi toplarla ve isteka ile oynanan bir oyun.
bileşen : Bir bileşke oluşturan kuvvetlerin her biri.
bileşik : Kimyasal tepkimeler sonucu iki veya daha çok elementten oluşan ve bunlardan bağımsız fiziksel, kimyasal nitelikler gösteren (madde).
bozunma : Işın etkin bir çekirdek, ışınım salarak değişikliğe uğrama.

C

cebirsel : Cebirle ilgili olan.
cımbız : Kıl vb. ince şeyleri tutmak veya çekmek için kullanılan küçük maşa.
cihaz : Aygıt, alet, takım.
cins : Tür, çeşit.
cirit : At koşturup birbirine değnek atarak takım hâlinde oynanan oyun, cirit oyunu.
cisim köşegeni : Prizmatik cisimlerde bir köşenin kendine en uzak köşe ile arasında olduğu varsayılan doğru parçası.

Ç

çark :Bir eksenin döndürdüğü tekerlek biçimindeki makine parçası.
çember :**1.** Merkez denilen sabit bir noktadan aynı uzaklık ve düzlemdeki noktalar kümesinin oluşturduğu kapalı eğri. **2.** Bu biçime getirilmiş katı cisimlerin çevresi.
çengel :Bir yere takılmaya, geçirilmeye yarayan eğri ve ucu sivri demir.
çizgisel :Çizgi ile gösterilmiş.

D

dayanma noktası : Bir kaldıracın dayandığı durgun nokta.
dedektör : Gaz, mayın, radyoaktif mineral, manyetik dalga vb.ni bulmaya, tanımaya yarayan cihaz, algılayıcı.
değişken : **1.** Bir evreni temsil eden deneklerin değişebilen özelliği. **2.** Nicelik ve ölçülebilir nitelik bakımından değişiklik gösteren gözlem. **3.** Değişik değerler alabilen (nicelik).
deneysel : Deneye başvurularak yapılan, deneyle olan, deneyle ilgili, tecrübi.
desen : Görsel bir etki yaratmak amacıyla yapılmış çizgi resimlerin hepsi.
destek : **1.** Bir şeyin yıkılmaması için konulan eğik veya düz dayak, payanda. **2.** Üzerine bir şey oturtmaya, tutturmaya, koymaya yarar araç, bindi, hamil.
dezavantaj : **1.** Engelleme, zarar verme durumu. **2.** Avantajlı olmama durumu.
dielektrik : Yalıtkan.
dikme : Bir noktadan bir çizgiye ya da bir yüzeye dik açı altında inen doğru.
dinamo : Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren alet.
disk : İnce ve çapı oldukça büyük teker şeklinde parça.
diyagram : Herhangi bir olayın değişimini gösteren grafik.
durgun : Hareketli olmayan, statik.

E

ebonit : Kauçukla kükürdün işlenmesinden elde edilen plastik madde.
elastik : Gerilme, sıkışma, biçim değişme gibi etkilere uğrayıp bu etkiler kalkınca kısmen veya tamamen ilk şekline dönme eğilimi olan, esnek.
elektrokimya : Kimyasal olaylar ile elektrik arasındaki ilişkileri konu edinen kimya dalı.
elektroliz : Bir elektrik akımın etkisiyle ortaya çıkan kimyasal ayrışma.
elektromanyetik : **1.** Elektromanyetizması bulunan veya bununla ilgisi olan. **2.** Elektrik ve mıknatıslık olaylarının her ikisiyle de ilgili olan.
elektronik : **1.** Serbest elektronların etkisiyle oluşan olayları inceleyen bilim dalı. **2.** Elektron temeline dayanan, elektronla ilgili.
endüstri : Ham maddeleri işlemek, enerji kaynaklarını yaratmak için kullanılan yöntemlerin ve araçların bütünü, sanayi.
epey :Oldukça, hayli.
esneklik :Bir cismin, kuvvet etkisiyle uzunluk, oylum ya da biçimce değişikliğe uğraması, ve kuvvet kalkınca başlangıç biçim ve boyutlarını yeniden bulması özelliği.
etkileşim :Nesneler, parçacıklar ya da dizgeler arasındaki karşılıklı kuvvet ve etkilerin tümü.
etkiyen :Etki eden, etkileyen.

F

flaş : Fotoğraf çekiminde ışık yeterli olmadığında bir görüntüyü net almak için kullanılan çok kısa süreli ve güçlü parıltı.

fonksiyon : **1.** İşlev. **2.** Bir veya birçok değeri değişebilen niceliklere bağlı olarak değişen nicelik. **3.** Bir birleşikteki herhangi bir madde grubunun kimyasal görevi, bu görevi nitelendiren özelliklerin tamamı.

G

geçirgenlik : Bazı cisimlerin, içlerinden gaz, sıvı, akım vb. geçirme özelliği.

gergin : Gerilmiş durumda olan.

gökdelen : Yirmi, otuz veya daha çok katlı yapı.

H

halat : Pamuk, kenevir, Hindistan cevizi gibi bitkisel liflerin veya çelik tellerin sarılmasıyla oluşan kolların bir arada bükülmesiyle elde edilen kalın ip.

hat : Elektrik akımı taşıyan tel veya kablo sistemi.

hidroelektrik : Su gücüyle elde edilen elektrik enerjisi.

homojen : Tamamının aynı yapıda olma, yeknesak olma hâli, heterojenin zıttı.

hoparlör : Elektrik dalgalarını ses dalgasına çeviren ve gerektikçe sesi yükselten alet.

I-İ

ısıl : Isı ve sıcaklıkla ilgili, termik.

ideal : Düşüncenin tasarlayabileceği bütün üstün nitelikleri kendinde toplayan, uygun.

ihmal : Önem vermeme, yok sayma.

ihtimal : Bir şeyin olabilmesi durumu, olabilirlik, olasılık.

iletim : İletken şeylerden ısı veya elektriğin geçmesi.

inşa etmek : Kurmak, yapmak.

iyonize olmak : İyonlaşmak.

J-K

jeneratör : Üreteç.

kaplama : Bir şeyin dışına süsleme veya koruma amacıyla geçirilen başka maddeden kat.

kartezyen koordinatlar : **1.** Düzlemde O noktasında birbirine dik iki doğru alınarak düzlemin her bir P noktasına karşılık getirilen (P_1, P_2) ikilisi, dik koordinatlar. **2.** Uzayda bir O noktasında birbirine dik üç doğru alınarak uzayın her bir P noktasına karşılık getirilen (P_1, P_2, P_3) üçlüsü, dik koordinatlar.

kaykay : Türlü maddelerden yapılmış, altında tekerlekler bulunan, üzerinde kayılan alet.

kazanç : Yapılan bir iş veya harcanan bir emek karşılığında elde edilen yarar, kâr.
kesişen : Bir nokta veya çizgi üzerinde birbirini kesip geçen çizgiler veya yüzeyler.
kesit : Bir şey enlemesine veya boylamasına kesildiğinde ortaya çıkan yüzey.
kolektör : Elektrik dinamolarında, hareketli bölümün üzerindeki iletken devrelerde oluşan akımı toplayıp tek bir devreye veren araç, toplaç.
koni : Çembersel bölge üzerindeki her noktanın çember düzlemi dışındaki bir nokta ile birleşiminden oluşan geometrik cisim.
koordinat : Bir yüzey üzerinde veya uzayda bir noktanın yerini bulmaya yarayan ana çizgilerden yatay olanı, apsis.
korunum : Dış çevreden yalıtılmış bir dizge ile ilgili kütle, erke, devinirlik gibi nicelikler toplamlarının etkileşimler sonucu değişikliğe uğramaması, muhafaza.
küre : Bütün noktaları merkezden aynı uzaklıkta bulunan yüzeyle sınırlı cisim.
küresel : Küre biçiminde olan, kürevi.

L-M

limit : Sınır.
maddesel : Madde özelliğinde olan, maddi.
maden arıtma : Madenleri kalıntı ve katışıklardan temizleme işlemi.
manyetik : Mıknatısla ilgili, kendinde mıknatıs özellikleri bulunan.
manyetik alan : Bir mıknatısın N ucundan dışarı çıkıp dağıldıktan sonra yine toplanıp S ucundan içine giren kuvvet çizgilerinin yayılmış bulunduğu alan.
manyetik rezonans : Atomların radyo dalgalarını absorblaması.
maruz kalmak : Bir olay veya bir durumla karşı karşıya olmak.
maşa : **1.** Ateş veya kızgın bir şey tutmaya, korları karıştırmaya yarayan iki kollu metal araç. **2.** Çok küçük şeyleri tutmaya yarayan küçük, kollu araç.
materyal : **1.** Gereç. **2.** Yazılı, sözlü, görüntülü, kaydedilmiş her türlü belge.
mekanik : Kuvvetlerin maddeler ve hareketler üzerine etkisini inceleyen fizik dalı.
menteşe : Kapı, pencere, mobilya kapakları vb. açılır kapanır şeylerde kullanılan, bir mille birbirine tutturulmuş, biri sabit, öbürü hareketli iki parçadan oluşmuş metal parça, reze.
münazara : Bir konu üzerinde, belli kural ve yöntemlere uyularak yapılan tartışma.

N

nanoteknoloji : Maddenin atomik veya moleküler boyutta işlenerek mikroskobik boyutta ürünlerin üretilmesi yöntemi.
net iş : Net kuvvetin yaptığı iş.
noksan : Eksik, eksiklik, kusur.
nükleer : Atom çekirdeği ile ilgili, çekirdeksel.

O

orijin : Başlangıç noktası.
otomat : Canlı bir varlığın yapabileceği bazı işleri yapan mekanik veya elektrikli araç.

Ö

özdek : Duyularla algılanabilen, bölünebilen, ağırlığı olan nesne, madde.
özdeş : Her türlü nitelik bakımından eşit olan, ayırt edilmeyecek kadar benzer olan, aynı.
özgü : Bir özdek ya da işlemin özelliklerine ilişkin.

P

parabol : Bir düzlemin odak denen sabit bir noktadan ve doğrultman denen sabit bir doğrudan eşit uzaklıktaki noktalarının geometrik yeri, yarı kübik.
parabolik : Parabol biçiminde olan, parabolle ilgili.
parçacık : Elektron, proton, nötron gibi atomu oluşturan parçaların her biri, partikül.
Parkinson hastalığı : James Parkinson tarafından tanımlanan, özellikle kol ve bacak kaslarının sertleştiği, hastada sürekli titreme ve hafif sallantının görüldüğü bir sinir sistemi bozukluğu.
pedal : Bir makinede, bir araçta ayak yardımıyla dönmeyi veya hareketi sağlayan düzen, ayaklık.
periyodik : Süreli.
piezoelektrik : Kristal, kuvars gibi bazı maddelerin üzerine uygulanan mekanik baskı yoluyla elektrik üretilmesi.
plaka : Metal yaprak.
pozisyon : **1.** Konum. **2.** Durum.
primer : Birinci derecedeki, birincil, ilk, esas.

R

radyoaktif : Çekirdek bozunması ile ışın verebilen.
reosta : Elektrik akımının şiddetini azaltıp çoğaltmaya yarayan araç, dimmer.
rotor : Dalgalı akımlı elektrik motor veya dinamolarında hareketli bölüm, döneç.
römork : Başka bir taşıt tarafından çekilen motorsuz taşıt.
römorkör : Yedeğinde özellikle deniz taşıtı götüren taşıt.

S-Ş

santral : Doğadaki başka enerji türlerini elektrik enerjisine çeviren fabrika.
sapmak : Yön değiştirmek.
sarım : Elektromıknatıslarda makara biçiminde sarılan iletken telin her bir halkası.
sekonder : İkinci derecedeki, ikincil, sekunder.
sensör : Duyarga.
silindirik : Silindirle ilgili, silindir biçiminde.
sinyal : Bir şey bildirmek için verilen işaret.
skaler : Yalnızca büyüklüğü ile belirlenen, doğrultu özelliği olmayan (nicelik).
somun : Cıvatanın ucuna geçirilen, içi yivli demir başlık.
somut : Varlığı duyularla algılanabilen, müşahhas, konkre, soyut karşıtı.

T

tahterevalli : İki ucuna birer kişi oturup karşılıklı olarak havada yükselip inerek eğlenmeyi sağlayan, ortasından bir yere dayalı tahta veya metal araç, çöğüncek.

teğet : Bir eğrinin yanından geçen ve ona ancak bir noktada değen doğru.

teknoloji : Bir sanayi dalı ile ilgili yapım yöntemlerini, kullanılan araç, gereç ve aletleri, bunların kullanım biçimlerini kapsayan uygulama bilgisi.

telekomünikasyon : Haber, yazı, resim, sembol veya her çeşit bilginin elektromanyetik sistemlerle iletilmesi, bunların yayımı veya alınması, uz iletişim.

temas : Değme, dokunma.

teorik : Kuramla ilgili, kuram durumunda bulunan, kuram niteliğinde olan, kuramsal, nazari, uygulamalı karşıtı.

termik : Isıl.

titreşmek : Titreşim durumunda olmak, ihtizaz etmek.

tornistan : Geminin pervanesini ters yönde çevirme.

trafo : Dönüştürücü.

trambolin : Sıçrama ağı.

tramvay : Şehirlerde yol üzerinde döşenmiş özel raylarda hareket eden yolcu taşıtı.

türdeş : Türleri bir olanlardan her biri.

V

verim : Çalıştırılan, işletilen, bakılan bir şeyin verdiği sonuç veya bu sonucun niceliği, mahsul, randıman.

voltaj : Gerilim.

Y-Z

yalıtım : Elektrik akımının olumsuz etkilerini önlemek için iletkeni kauçuk, lastik, porselen vb. ile kaplama, yalıtma, tecrit, izolasyon.

yörünge : **1.** Bir gök cisminin hareketi süresince izlediği yol, mahrek. **2.** Hareketli bir noktanın izlediği veya çizdiği yol, mahrek.

zemberek : Kinetik enerjiyi depolamak için kullanılan ve bu enerjiyle bazı makinelerin çeşitli parçalarını harekete geçiren yay.

KAYNAKÇA

BEİCHNER, Robert J. ve Raymond A. SERWAY. *Fen ve Mühendisilik İçin Fizık.* **Çeviri Editörü Prof. Dr. Kemal ÇOLAKOĞLU. Cilt 2. 3 cilt. Ankara: Palme Yayıncılık, 2002.**

BERNAL, J. D. *Modern Çağ Öncesi Fizik. 2.* **Çeviren Deniz Yurtören. Ankara: Tübitak Yayınları, 1995.**

BUECHE, Frederick J. ve David A. JERDE. *Fizik İlkeleri 1.* **Çeviri Editörü Prof. Dr. Kemal ÇOLAKOĞLU. Cilt 2. 1 cilt. Ankara: Palme Yayıncılık, 2003.**

BUECHE, Frederick J. ve David A. JERDE. *Fizik İlkeleri 2.* **Çeviri Editörü Prof. Dr. Kemal ÇOLAKOĞLU. Cilt 2. 2 cilt. Ankara: Palme Yayıncılık, 2010.**

FISHBANE, Paul M., Stephen GASIORIWICZ ve Stephen T. THORNTON. *Temel Fizik. 2.* **Yayına Hazırlayan Prof. Dr. Cengiz YALÇIN. Cilt 2. 2 cilt. Ankara: Arkadaş Yayınevi, 2007.**

FISHBANE, Paul M., Stephen GASIOROWICZ ve Stephen T THORNTON. *Temel Fizik.* **Yayına Hazırlayan Prof. Dr. Cengiz YALÇIN. Cilt 1. 2 cilt. Ankara: Arkadaş Yayınevi, 2003.**

GÜNEŞ, Prof. Dr. Bilal. *Fizikte Kavram Yanılgıları.* **Editör Prof. Dr. Bilal GÜNEŞ. Ankara: Palme Yayıncılık, 2017.**

MEB Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı. *«Ortaöğretim Fizik Dersi Öğretim Programı (19.01.2018 Tarih ve 28 Karar Sayılı).»* **Ankara, 2018.**

PÜSKÜLLÜOĞLU, Ali. *Türkçe Sözlük.* **Ankara: Arkadaş Yayınevi, 2012.**

PÜSKÜLLÜOĞLU, Ali. *Türkçedeki Yabancı Sözcükler Sözlüğü. 5.* **Ankara: Arkadaş Yayınevi, 2004.**

SERWAY, Raymond A. ve Robert J. BEICHNER. *Fen ve Mühendislik İçin Fizik. 5.* **Çeviri Editörü Prof. Dr. Kemal ÇOLAKOĞLU. Cilt 2. 3 cilt. Ankara: Palme Yayıncılık, 2011.**

TDK. *Türkçe Sözlük.* **11. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2011.**

TDK. *Yazım Kılavuzu.* **Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2012.**

YOUNG, Hugh D. ve Roger A. FREEDMAN. *Sears & Zemansky'nin Üniversite Fiziği. 14.* **Çeviri Editörü Hilmi ÜNLÜ İstanbul: Pearson Eğitim Çözümleri Ltd. Şti., 2017.**

GÖRSEL KAYNAKÇASI

KİTAP KAPAK

shutterstock_383191675 **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, *shutterstock_517925854* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, *shutterstock_445244539* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, *shutterstock_418739311* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, *shutterstock_509160553* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, *shutterstock_604545992* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**,

1. ÜNİTE

1. Ünite Kapak: *shutterstock_117727798* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.1:** *dreamstime_l_48807974* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.2:** *dreamstime_l_87571130* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **10. Örnek:** *dreamstime_l_246306* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.4:** *dreamstime_l_2597616* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Şekil 1.21:** *shutterstock_683117623* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **13. Örnek:** *dreamstime_l_51178877* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Sayfa 43 8. Soru:** *dreamstime_l_93171764* **(Erişim: 9.11.2017-15.01.2018)**, **22. Örnek:** *shutterstock_86298553* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.5:** *shutterstock_1154895* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **39. Örnek:** *shutterstock_411290905* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **31. Alıştırma:** *shutterstock_411290905* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **40. Örnek:** *shutterstock_411290905* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **41. Örnek:** *shutterstock_411290905* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **44. Örnek:** *shutterstock_411290905* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **36. Alıştırma:** *shutterstock_596464745* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.6-I:** *shutterstock_147756764* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.6-II:** *shutterstock_136905950*, **Görsel 1.7-a:** *shutterstock_488491627* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.7-b:** *shutterstock_570351700* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **55. Örnek:** *shutterstock_574879027* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.8:** *shutterstock_683348884* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **58. Alıştırma:** *shutterstock_280767893* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.9:** *shutterstock_208017049* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.10-a:** *shutterstock_68418241* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.10-b:** *shutterstock_97752983* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.11-a:** *shutterstock_98407283* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.11-c:** *shutterstock_371772067* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.11-d:** *shutterstock_307595765* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.12:** *shutterstock_358926878* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.13:** *Canan Dağdeviren tarafından paylaşılmıştır.* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.14-a:** *shutterstock_411290905* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.14-b:** *shutterstock_596464745* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.14-c:** *shutterstock_243388609* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.15:** *shutterstock_489358753* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.16:** *shutterstock_521802448* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **107. Örnek:** *shutterstock_696718573* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **108. Örnek:** *shutterstock_696718573* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **82. Alıştırma:** *shutterstock_696718573* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.17:** *shutterstock_697307914* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.18:** *shutterstock_223693351* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.20-a:** *shutterstock_50977429* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.20-b:** *shutterstock_24824062* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **86. Alıştırma:** *shutterstock_248744173* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **87. Alıştırma:** *shutterstock_745359490* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.21:** tr.*123rf_11091911* **(Erişim: 30.04.2019)**, **Görsel 1.22:** *shutterstock_617967932* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Sayfa 214 8. Soru:** *shutterstock_537708976* **(Erişim: 29.09.2017, 16:11)**, **Görsel 1.23-a:** *shutterstock_567079816* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.23-b:** *shutterstock_446970* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.23-c:** *shutterstock_703640857* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Şekil 1.84:** *shutterstock_471124049* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.24-a:** *shutterstock_300038579* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.24-b:** *shutterstock_207002194* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.24-c:** *shutterstock_278791898* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.25-a:** *shutterstock_127377305* **(Erişim: 29.12.2017-15.01.2018)**,**Görsel 1.25-b:** *shutterstock_64982371* **(Erişim: 29.12.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.26-a:** *shutterstock_330493148* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.26-b:** *shutterstock_519853807* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018)**, **Görsel 1.27:** *shutterstock_187276571* **(Erişim: 30.01.2018)**,

Görsel 1.28: *shutterstock_336714590* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 1.29:** *shutterstock_594096725* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 1.30:** *shutterstock_471623375* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Sayfa 247 24. Soru:** *shutterstock_497360371* **(Erişim: 08.01.2018-15.01.2018), Sayfa 247 24. Soru:** *shutterstock_749159446* **(Erişim: 08.01.2018 -15.01.2018), Sayfa 247 24. Soru:** *shutterstock_690518296* **(Erişim: 08.01.2018 -15.01.2018), Sayfa 247 24. Soru:** *shutterstock_414378703* **(Erişim: 08.01.2018 -15.01.2018)**

2. ÜNİTE

2. Ünite Kapak: *shutterstock_379695592* **(Erişim: 02.10.2017, 12.27), Görsel 2.3:** *shutterstock_128001347* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.4:** *shutterstock_705036580* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.37:** *shutterstock_249038392* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.5:** *shutterstock_618754964* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.38-a:** *shutterstock_203645008* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.38 b:** *shutterstock_203645008,* **Şekil 2.40:** *shutterstock_201705185* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.44:** *shutterstock_592517531* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.7-b:** *shutterstock_655687138* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.7-c:** *shutterstock_655687132* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.51:** *shutterstock_94740706* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.55:** *shutterstock_167836514* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.8:** tr.*123rf_82396060* **(Erişim: 30.04.2019), Görsel 2.9:** *shutterstock_701528125* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.67:** *shutterstock_380800837* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.68:** *shutterstock_611245691* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.10:** *shutterstock_225039784* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.11-a:** *shutterstock_636224825* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.11-b:** *shutterstock_613722470* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.11-c:** *shutterstock_647157550* **(Erişim: 27.08.2018), Görsel 2.11-d:** *shutterstock_550516789* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Şekil 2.69:** *shutterstock_167836514* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018), Görsel 2.12:** *Sema ERDOĞAN MESCİ tarafından çizilmiştir.* **(Erişim: 01.01.2018-15.01.2018), Görsel 2.13:** *Sema ERDOĞAN MESCİ tarafından çizilmiştir* **(Erişim: 01.01.2018-15.01.2018) Şekil 2.77:** *shutterstock_401924701* **(Erişim: 19.06.2017-15.01.2018).**

Kitaptaki diğer görseller ve şekiller, görsel tasarım ve grafik tasarım uzmanları tarafından hazırlanmıştır.

GENEL AĞ KAYNAKÇASI

TDK. *Bilim ve Sanat Terimleri Ana Sözlüğü.* **tarih yok. http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bilimsanat&view=bilimsanat (erişildi: Ocak 02, 2018).**

TDK. *Güncel Türkçe Sözlük.* **tarih yok. http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&view=gts (erişildi: Aralık 12, 2017).**

TDK. *Yazım Kılavuzu.* **tarih yok. http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_yazimkilavuzu&view=yazimkilavuzu (erişildi: Ocak 02, 2018).**

ÖSYM. *Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Sistemi.* **tarih yok. https://dokuman.osym.gov.tr/pdfdokuman/2017/OSYS/LYS/LYS2FIZIK18062017.pdf (erişildi: Aralık 20, 2017).**

KAREKOD KAYNAKÇASI

Simülasyon 1.1 : *https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html*

Simülasyon 1.2 : *https://phet.colorado.edu/sims/collision-lab/collision-lab_tr.html*

Simülasyon 2.1 : *https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_en.html*

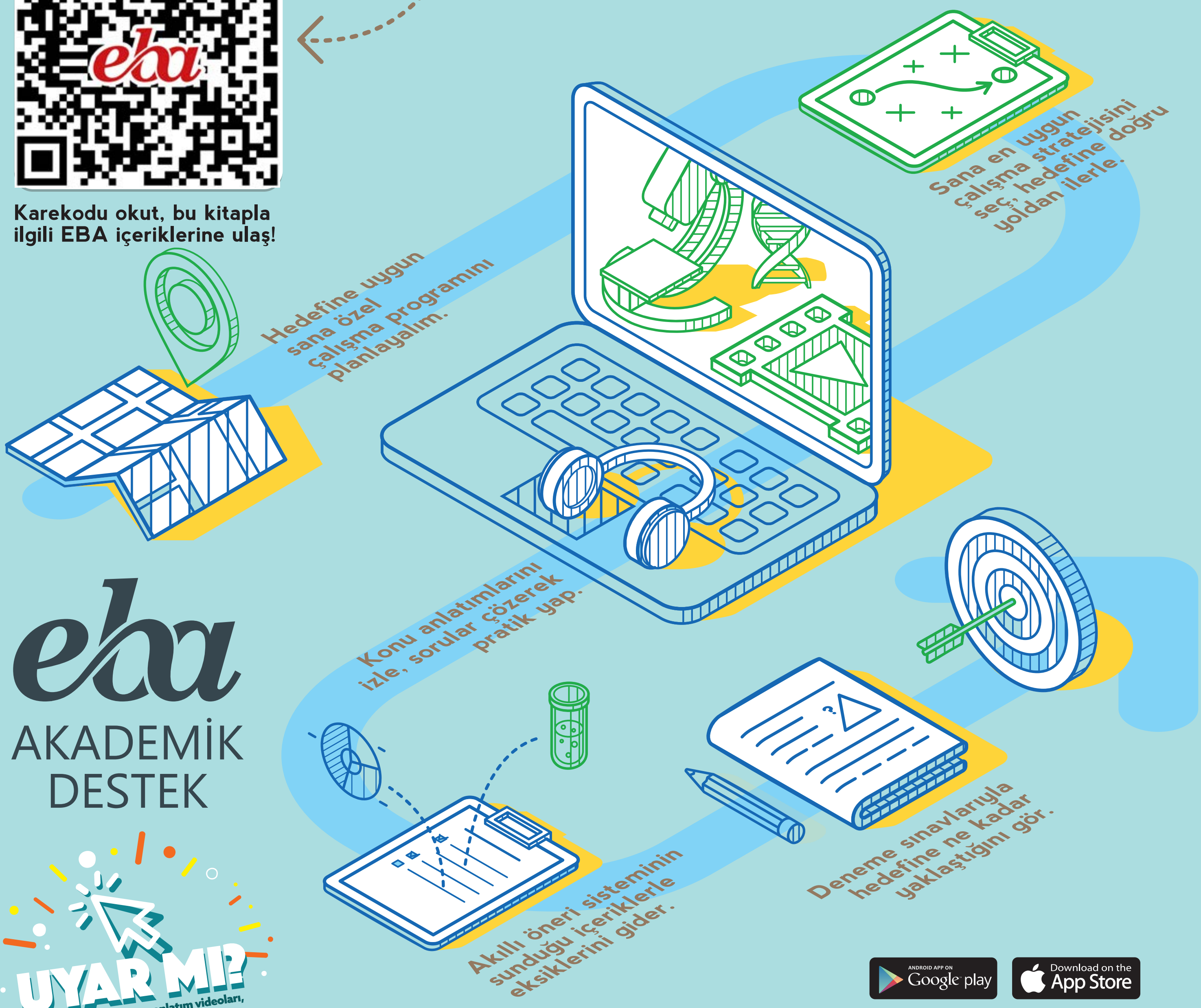
Simülasyon 2.2 : *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/capacitor-lab*

Simülasyon 2.3 : *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday*

Simülasyon 2.4 : *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/generator*

Bu kitaba sığmayan daha neler var!

Karekodu okut, bu kitapla ilgili EBA içeriklerine ulaş!



EBA AKADEMİK DESTEK

UYAR MI?

Türkiye'nin en iyi konu anlatım videoları, onbinlerce yeni nesil soru, onlarca kaynak kitap içeriği

Google play · App Store

BU DERS KİTABI MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINCA ÜCRETSİZ OLARAK VERİLMİŞTİR.
PARA İLE SATILAMAZ.

Bandrol Uygulamasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmeliğin Beşinci Maddesinin İkinci Fıkrası Çerçevesinde Bandrol Taşıması Zorunlu Değildir.